日本经典
技能系列丛书

# 磨床操作

（日）技能士の友編集部　编著
符策　铁维麟　译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

## 日本经典技能系列丛书



























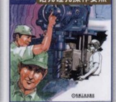

























**全套**
**共17本**

上架指导：工业技术／机械工程／机械加工

ISBN 978-7-111-30140-0

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销 售 一 部：(010)68326294
销 售 二 部：(010)88379649
读者服务部：(010)68993821

邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com



定价：25.00元

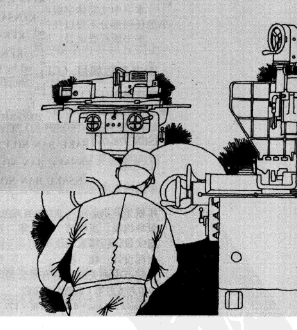


日本经典技能系列丛书

# 磨床操作

(日)技能士の友編集部　编著

符　策　铁维麟　译





机械工业出版社

磨削是高精度加工，一般认为磨削精度与磨床的性能相关。但是，要用高精度的机械设备加工出更好的产品，还需要一定的操作技能。本书主要内容包括：从砂轮的选择到磨床实际操作规程等一系列磨削的基本知识，以及测量要点等。

本书可供磨工或机械加工工人入门培训使用。



**图书在版编目（CIP）数据**

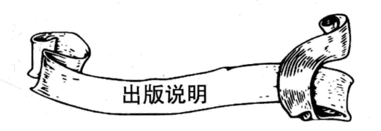
磨床操作/（日）技能士の友編集部编著；符策，铁维麟译．—北京：机械工业出版社，2010.6
（日本经典技能系列丛书）
ISBN 978-7-111-30140-0

Ⅰ.①磨…　Ⅱ.①技…②符…③铁…　Ⅲ.①磨床—操作　Ⅳ.①TG58

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 046526 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：王晓洁　朱　华　责任编辑：王晓洁
版式设计：霍永明　　　　　责任校对：纪　敬
封面设计：鞠　杨　　　　　责任印制：杨　曦
保定市中画美凯印刷有限公司印刷
2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
182mm×206mm・6.833 印张・177 千字
0001—3000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-30140-0
定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务
社服务中心：（010）88361066
销 售 一 部：（010）68326294
销 售 二 部：（010）88379649
读者服务部：（010）68993821
网络服务
门户网：http：//www.cmpbook.com
教材网：http：//www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版



# 出版说明

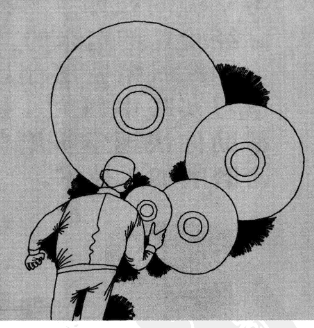
为了吸收发达国家职业技能培训在教学内容和方式上的成功经验，我们引进了日本大河出版社的这套“技能系列丛书”，共17本。

该丛书主要针对实际生产的需要和疑难问题，通过大量操作实例、正反对比形象地介绍了每个领域最重要的知识和技能。该丛书为日本机电类的长期畅销图书，也是工人入门培训的经典用书，适合初级工人自学和培训，从20世纪70年代出版以来，已经多次再版。在翻译成中文时，我们力求保持原版图书的精华和风格，图书版式基本与原版图书一致，将涉及日本技术标准的部分按照中国的标准及习惯进行了适当改造，并按照中国现行标准、术语进行了注解，以方便中国读者阅读、使用。

# 目录

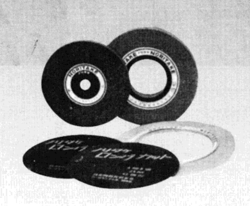
**特殊磨削**





在各种机械加工方法中，磨削加工是比较精密的加工方法。同时，磨削操作需要学习很多的技术，其中既有对已有加工技术的进一步熟练掌握，也有对新技术的进一步深入研究。这些需要学习掌握的技术，一般都是根据工人的实际经验总结出来的。

那些精密磨削理论就是高级技师在学习实践中研究、提炼出的。本书可以帮助你快速掌握磨削基础知识、学会精密磨削加工技术。



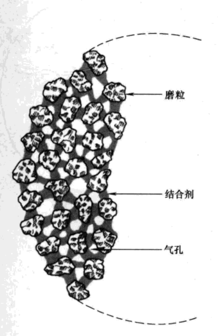
# 砂轮



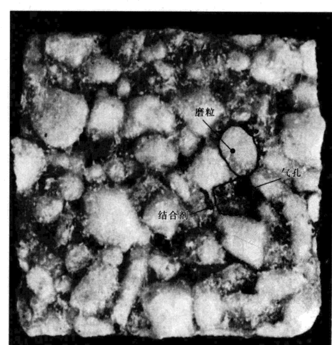
# 砂轮的

人类自从会使用工具来磨、抛、研物品以来，便一直在不断地进步，直至 1887 年美国制造出陶瓷砂轮，才开始使用机床进行磨削加工。日本能够制造出砂轮还是 1908 年（明治 41 年）以后的事。

不过，那时磨料还是进口的，直至 1917 年（大正 6 年）日本才开始自制磨料。




▲砂轮的三要素




▲图中圆圈部分说明了砂轮的构成

# 构成

磨床中使用的砂轮，按其形状、尺寸、颜色等特征，可分为很多类。但每类砂轮都是由作为切削刃的“磨粒”、把磨粒粘结起来的“结合剂”和孔穴状的“气孔”组成，这三者就是砂轮的三要素。

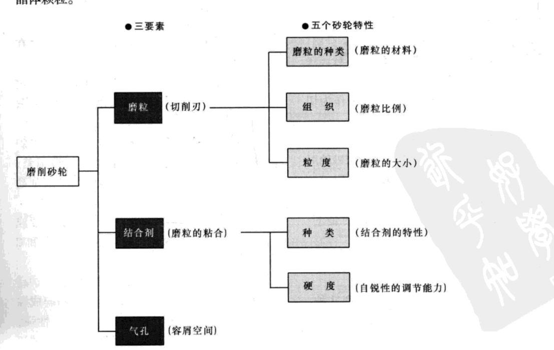
砂轮的三要素如下图所示，其结构类似于用多种原料做成的各式各样的糕点。

**磨粒**：与车刀、刨刀和铣刀的切削刃具有同样的功能，能切削工件，是坚硬的矿物晶体颗粒。

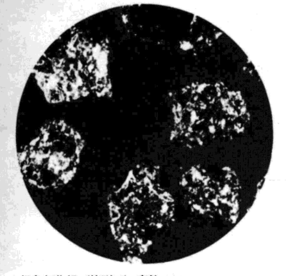
**结合剂**：把磨粒粘结在一起，保持到磨粒磨损脱落为止。

**气孔**：作为容屑空间起着暂时存留磨粒切下的切屑的作用，并可容纳磨削液和冷空气，对磨削过程起冷却作用。

以上三个要素如下图所示，可以由五个砂轮特性确定。




▲三要素与五个砂轮特性



▲褐色氧化铝（棕刚玉）磨粒 A24



▲白色氧化铝（白刚玉）磨粒 WA24

注：本书砂轮磨粒代号为日本标准。——译者注

# 磨粒的种类

在砂轮的各种成分中最重的就是作为切削刃的磨粒。

磨粒分天然磨料和人造磨料两大类。除了研磨用的磨料和砂纸所用的磨料，磨床砂轮用的磨料都不使用天然磨料（金刚石除外）。

人造磨料有：①氧化铝②碳化硅③烧结刚玉④锆刚玉⑤人造金刚石等，常用的是①、②和⑤三种磨料。

## ●性质

氧化铝和碳化硅磨料有表中所列几种。在这些磨料中，用得最多的是氧化铝材料中的 WA、A 和碳化硅材料中的 GC、C。

WA、A 的主要成分是氧化铝 $Al_2O_3$，其中 WA 的氧化铝纯度很高（质量分数在 98.8%以上）。

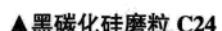
**A 磨粒：**褐色，韧性强，一般用来磨削钢件。与 WA 相比，氧化铁和氧化钛等杂质较多，常用杂质质量分数在 30%以下的铝土制造。

**WA 磨粒：**用铝页岩等含铝矿石经电炉高温冶炼而成。与 A 磨粒相比，韧性稍差，脆裂性强，因此常用来精磨和轻负荷磨削高速钢、特种钢等。

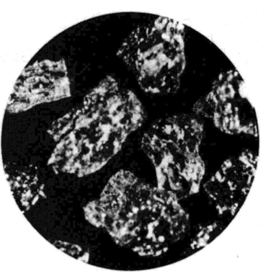
碳化硅材料是以碳化硅（SiC）为主要成分（质量分数在 98%以上），可分为 GC 和 C 两种。

**GC 磨粒：**以碳和硅石为原料，经电炉高温加热后形成纯碳化硅结晶块，再粉碎成颗粒。呈绿色，故称为绿碳化硅。脆裂性强，适于硬质合金刀具和磨削温度高而难磨的工件的精密磨削。





▲黑碳化硅磨粒 C24



▲绿碳化硅磨粒 GC24

**C 磨粒**：与 GC 的制造方法相同。比 GC 硬度低，比氧化铝硬度高，韧性差，用来磨削铸铁、非金属、非铁金属等。

如下表所示，JIS（日本工业标准）规定了人造磨料的原料类别、种类、代号、特性（略）、粒度（见第 10 页）、化学成分、密度等内容。

▼氧化铝材料和碳化硅材料的磨料种类

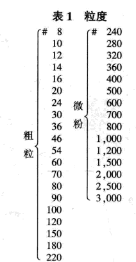
| 原料类别 | 种　类 | 代　号 | 粒　度 | 化学成分（%）<br>$\omega(Al_2O_3)$ | 密度 /（g /cm³） |
|---|---|---|---|---|---|
| 氧化铝磨料（刚玉） | 褐色氧化铝磨料（棕刚玉） | A | 粗粒 | 92.0 以上 | 3.94 以上 |
| | | | 微粉 | 87.5 以上 | 3.85以上 |
| | 白色氧化铝磨料（白刚玉） | WA | 粗粒 | 99.0 以上 | 3.93以上 |
| | | | 微粉 | 98.0以上 | 3.85以上 |
| | 浅红色氧化铝磨料（铬刚玉） | PA | 粗粒 | 98.0以上 | 3.93以上 |
| | 单刚玉磨料 | HA | 粗粒 | 98.5以上 | 3.95以上 |
| | 人造刚玉磨料 | AE | 粗粒 | 77.0以上 | 3.61以上 |
| | | | 微粉 | 62.0以上 | 3.50以上 |
| 碳化硅磨料 | 黑碳化硅磨料 | C | 粗粒 | 95.0以上 | 3.18以上 |
| | | | 微粉 | 91.0以上 | 3.16以上 |
| | 绿碳化硅磨料 | GC | 粗粒 | 98.0以上 | 3.18以上 |
| | | | 微粉 | 95.0以上 | 3.16以上 |

# 粒度

用手触摸砂轮表面，就会发现有的砂轮粗糙，有的砂轮光滑。对于不同的粗糙表面，手的感觉是不同的。这种粗糙程度是由磨粒的大小决定的。表示磨粒大小的参数就是粒度。

这种粒度值[⊖]见表 1，# 写在前面，叫做“XX 号”粒度。通常用筛分的办法区分磨粒的大小。粒度号数就是筛网在 1in（25.4mm）内所含的网格数。例如，磨粒正好能通过 1in 内含有 36 个网格的筛网，则该磨粒就叫做“36 号磨粒”。

**表 1　粒度**



| 粗粒 | 微粉 |
|---|---|
| # 8 | # 240 |
| 10 | 280 |
| 12 | 320 |
| 14 | 360 |
| 16 | 400 |
| 20 | 500 |
| 24 | 600 |
| 30 | 700 |
| 36 | 800 |
| 46 | 1,000 |
| 54 | 1,200 |
| 60 | 1,500 |
| 70 | 2,000 |
| 80 | 2,500 |
| 90 | 3,000 |
| 100 | |
| 120 | |
| 150 | |
| 180 | |
| 220 | |

而实际上，磨粒是具有一定长、宽、高尺寸的立体。由于磨粒通过筛孔的取向不同，因此筛选时，同一个磨粒可能能通过，也可能不能通过筛孔。因此，对于同一个 36 号筛网，两次所通过的磨粒大小就有可能不相同。

用一种筛网筛分时，能通过的磨粒大小见表 2。由表 2 可知，用 36 号筛网时，#36 磨粒的数量最多，但也会有 #30、#24 和 #40 磨粒。

不过，筛分的办法只适用于粒度号小于 #220 的磨粒的分级，再细的磨粒就不适用了。粒度号比 #220 更大的（磨粒的尺寸更小的），则利用水或空气分选，根据其密度和体积大小的不同加以区分。

磨粒大就是切削刃大，背吃刀量就大。精磨时，要使用粒度号大、不易堵塞的磨粒。

将磨粒放大约 21 倍，磨粒的大小随粒度大小的变化情况便一目了然。

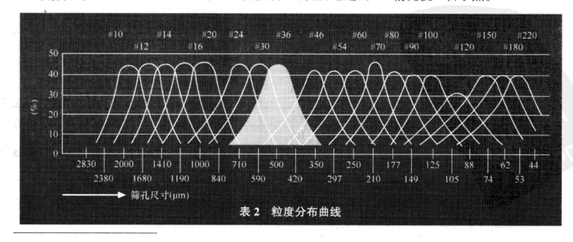
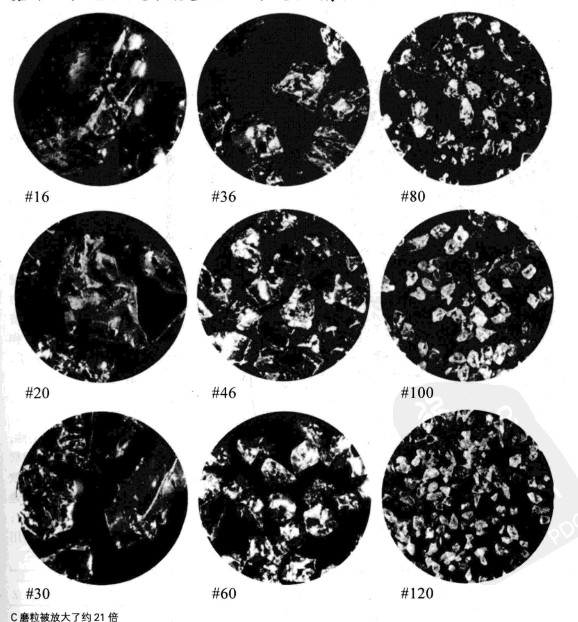



**表 2　粒度分布曲线**

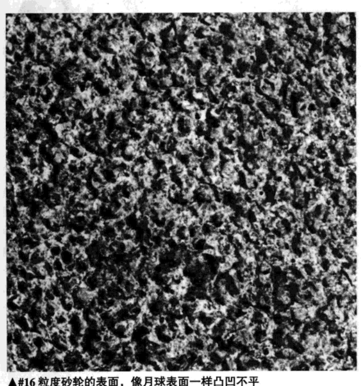
⊖　日本工业标准（JIS）中粒度 #36，对应中国粒度为 F36（36#）。——译者注

# 磨粒的大小随粒度大小的变化情况




C磨粒被放大了约21倍

# 硬度



▲#16 粒度砂轮的表面，像月球表面一样凸凹不平

所谓硬度不是磨粒、结合剂等单独的、硬度，硬度的大小从砂轮的外观是看不出来的。硬度是表示砂轮整体综合强度的参数。

磨削时磨粒和结合剂同时承受磨削力，粘结磨粒的结合剂承受的力更大。因此，一般用硬度来表示结合剂对磨粒的粘结程度。

硬度用 26 个英文字母来表示，见下表。

用同种结合剂制造的砂轮，相同容积中结合剂含量越高，磨粒与磨粒之间的硬度就越高，砂轮就越硬。

总之，如下图所示，相同体积内结合剂含量越高，气孔越少，砂轮越硬；结合剂含量越低，气孔越多，砂轮越软。

对于砂轮来说，“硬度越高越好”的说法是不对的，适当软一些对磨粒的脱落、新切削刃再生是有好处的。

硬度低的砂轮易磨损。硬度高的砂轮保持磨粒的结合力强，磨损后仍然能“抓住”磨粒，使其不易脱落，因而，作为切削刃的磨粒已经钝化了，而结合剂仍然保持不碎。

因此，应根据加工条件，适当选择不同硬度的砂轮。

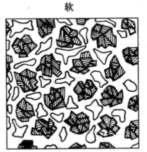
例如，磨削硬脆的工件，应使用较软的砂轮；磨削韧性较好的工件，应使用较软的砂轮。另外，砂轮圆周速度高时，应使用较软的砂轮；砂轮圆周速度低时，应使用

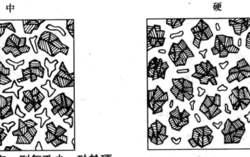
▼硬度的表示符号

←——软　　　　　　　　硬——→

A，B，C，D，E，F，G，H，I，J，K，L，M，N，O，P，Q，R，S，T，U，V，W，X，Y，Z

A 最软，Z 最硬






▲结合剂含量少，则气孔多，砂轮软；结合剂含量多，则气孔少，砂轮硬

较硬的砂轮。详细情况可参阅42页的内容。

●**硬度的检验**

为测量砂轮硬度的高低，可将砂轮平放在试验机的平台上，用试验机来检测。在垂直于平台的方向施力，将压头压入砂轮。此时测出压头尖端压入的大致深度，便可用硬度号表示出砂轮的硬度。

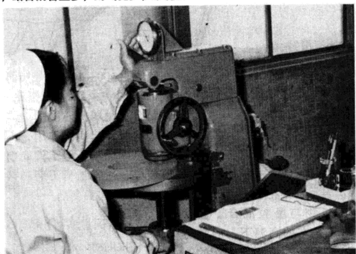
这种试验机是“大量程”硬度试验机。对于陶瓷砂轮，加载50kg；对于树脂砂轮，加载80kg，其压头尖端是带有90°尖角的管状圆柱体。

做这种试验时，同一硬度值所对应的粒度、压头压入砂轮的深度可能有所不同。

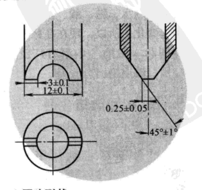
例如，对于陶瓷砂轮，硬度为G的#60粒度的压入深度为0.90～1.11mm；#80粒度的压入深度为0.74～0.91mm。

需要特别指出的是，这种试验机所能检测的最高粒度号为#120，更细磨粒的砂轮需用维氏硬度试验机检测。

特别是砂轮制造商根据多年的经验，一般知道清楚用什么粒度和什么结合剂可烧结出什么硬度的砂轮。磨削加工工人经过培训，也能做到用螺钉旋具在砂轮上划一划便可知道砂轮大概的硬度。



▲检测硬度用的“大量程”硬度试验机




▲压头形状

# 结合剂

把砂轮中的磨粒结合在一起的成分就是结合剂。结合剂通过包裹作用将磨粒粘结在一起，并使砂轮中的磨粒粘结起来形成磨具。结合剂的种类见下表，各种结合剂都有脆性和弹性，表中的各种结合剂各有不同的特性。其中用得较多的有以下6种。应根据加工效率和安全的要求，选择符合加工条件要求的结合剂制造的砂轮。

### ❀ 陶瓷结合剂

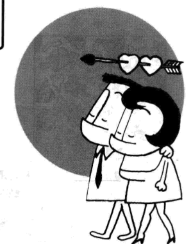
(Vitrified Bond)

陶瓷结合剂一般用字母“V”表示，是把长石、粘土等无机物与磨粒混合，在1300℃左右的高温下与磨粒烧结起来的。其硬度和组织的调整都比较简单。这种砂轮气孔多，遇水、碱、酸、油等都不起变化。所以，现在在精密磨削和一般磨削中都有广泛应用。缺点是稍有些脆。

### ❀ 硅酸盐结合剂

(Silicate Bond)

硅酸盐结合剂用字母“S”表示，是以硅酸钠（也称为水玻璃）为主要成分，



在较低的600～1000℃烧结而成的。同陶瓷结合剂相比，其结合力稍弱些。磨削中硅酸钠溶解，起润滑作用，不适合粗磨加工。但工件磨削热较少，适于工具刃磨和接触面积大的平面磨削。

### ❀ 天然树脂结合剂

(Shellac Bond)

天然树脂结合剂用字母“E”表示，是以天然树脂虫胶

**结合剂的种类**

| 代　号 | 名　称 |
|---|---|
| V | 陶瓷 |
| S | 硅酸盐 |
| R | 橡胶 |
| B | 人造树脂 |
| E | 天然树脂 |
| M | 金属 |
| O | 氯氧化物 |
| 泡沫状尼龙聚氨酯 | |

作为原料，在170℃左右熟化。由于结合力弱，所以不能用于重负荷磨削，适于精磨。

### ❀ 人造树脂结合剂

(Resinoid Bond)

人造树脂结合剂用字母“B”表示，是用酚醛树脂在200℃左右的温度下烧结而成的。与陶瓷结合剂相比，其弹性、抗拉强度大，工作转速高，可用来制作切断砂轮、轧辊磨削砂轮以及铸件清理砂轮。

### ❀ 橡胶结合剂

(Rubber Bond)

橡胶结合剂用字母“R”表示，是以天然或人造橡胶为主体，与磨粒在180℃左右的温度下熔合而成的。它有很强的弹性，适用于薄片砂轮；抗热、抗油能力差，必须注意合理使用磨削液。

### ❀金属结合剂

(Metal Bond)

金属结合剂的代号为“M”，是以天然或人造金刚石为磨粒，以铜、镍或铁等结合剂烧结而成的。

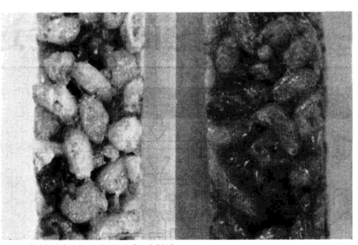
# 组织

组织是与磨粒比例有关的概念。砂轮整个体积中所含的磨粒的比例，称为磨粒比例。一定体积中所含的磨粒比例大，则砂轮的组织致密；比例小，则组织疏松。

一般来说，组织与气孔有着密切的关系，组织致密，则气孔少；组织疏松，则气孔多。

气孔多，则硬度低，且类似于铣刀的容屑空间大，因此砂轮就更锋利。

为提高磨削加工的效率，必须考虑砂轮的组织。组织致密，砂轮切削刃越多，仅从这点看，可认为组织致密可以提高加工效率。但实际上，由于组织致密容易导致磨削热和磨削裂纹等，产生不良的磨削后果。因此，必须重视砂轮的组织特性。



▲江米糖的气孔，右图中气孔较密

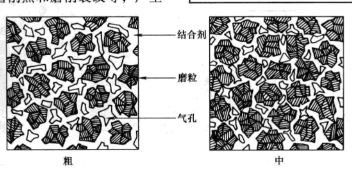
**磨粒比例**

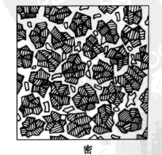
| |
|---|
| 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24, 30, |
| 36, 46, 54, 60, 70, 80, 90, 100, |
| 120, 150, 180, 220, 240, 280, |
| 320, 360, 400, 500, 600, 700, |
| 800, 1000, 1200, 1500, 2000, |
| 2500, 3000 |
| 8 ⟵ 粗　　细 ⟶ 3000 |

用一定量的磨粒与结合剂烧结出来的砂轮，体积可能相差很大，因而组织也不同。

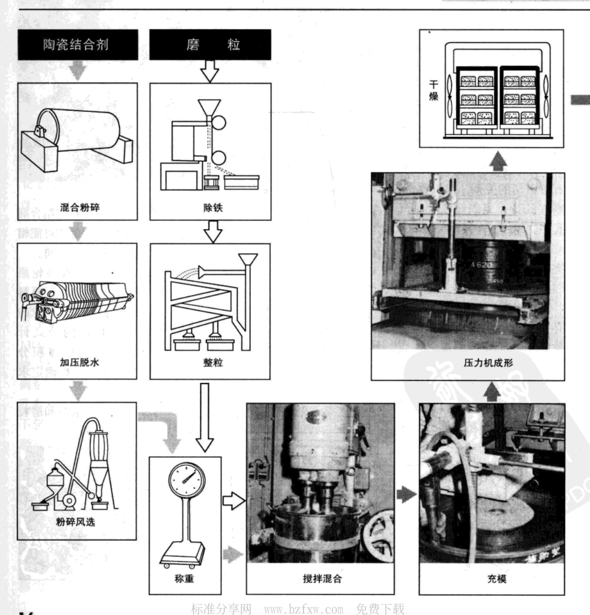
磨粒比例要根据砂轮原料的体积分数、重量、原料中磨粒的质量，以及磨粒的密度等，用特定的公式计算。所以，要根据体积分数、磨粒质量等参数确定求解的方法。

JIS 中对砂轮组织和磨粒比例的规定见左表。

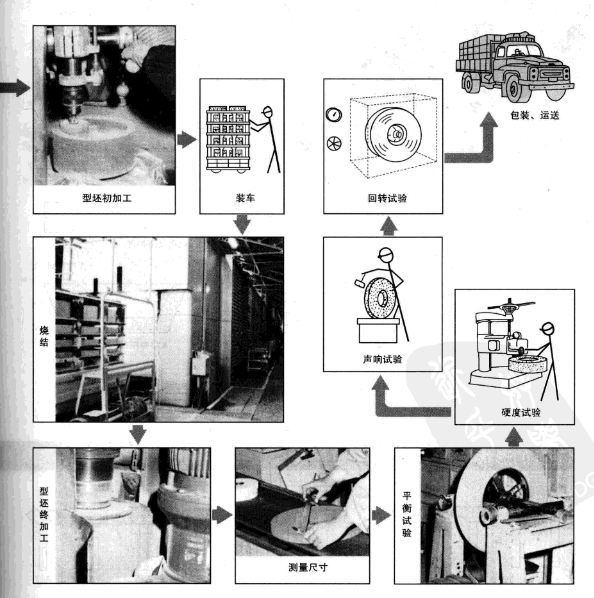


# 砂轮的制造过程



砂轮制造商购入磨粒和结合剂，制造出各种形状、各种性质的砂轮。形状、大小、磨粒种类、粒度、结合剂各种各样，从而制造出种类繁多的砂轮。这里仅仅介绍了陶瓷砂轮的制造过程。






# 形状和大小

## 砂轮的形状、工作表面与名称

工作表面

▲1号平形

工作表面

▲2号筒形

工作表面

▲5号单面凹形

工作表面

▲6号杯形

工作表面

▲7号双面凹形

工作表面

▲11号碗形

工作表面

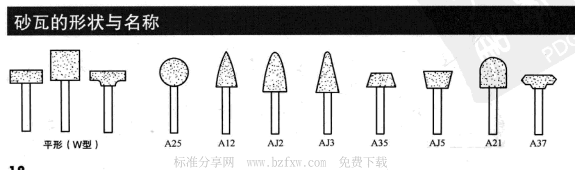
工作表面

▲12号碟形

工作表面

▲13号弧用碟形

## 砂瓦的形状与名称



砂轮的形状很多。尽可能根据工件形状、加工处理情况、所用机床等条件来选择砂轮形状。

相同形状的砂轮有很多尺寸规格。例如，1 号平形砂轮，用于外圆磨削和工具磨削，相同的直径对应不同的厚度规格。外圆磨削用的标准形砂轮，外径为 225~1065mm，分别有多种厚度。

另外，1 号平形砂轮、5 号单面凹形砂轮、7 号双面凹形砂轮等外缘形状也有很多种。以上内容在 JIS R 6211 中均有规定，其中也包括砂瓦的形状，但其尺寸一般较小。



▲1 号平型·A 型的大型砂轮

## 砂轮轮缘形状及其名称（1 号、5 号、7 号砂轮适用）

90°

▲A型

3 65°

▲B型

3 45°

▲C型

60° R $R=\frac{3}{10}T$ T

▲D型

60° 60°

▲E型

R T $R=\frac{1}{2}T$

▲F型

3 30°

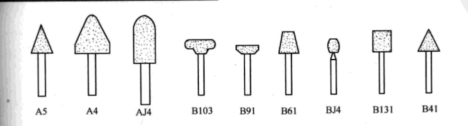
▲M型

X V X,V 由购销方协商确定

▲N型

45° 45°

▲P型



# 表示方法


检查表

最好的质量　最好的性能

| | |
|---|---|
| 生产编号 | M061256T |
| 尺　寸 | 205x19x15.88 |
| 磨　粒 | WA　粒度　80 |
| 硬　度 | K　组织　7 |
| 结合剂 | V |
| 形状缘形 | 1A |
| 最高工作线速度 | 2000 m/min |
| 生产年月日 | 48.3.20 |

岩 检查济 崎

クレノートン

请保存以上文字资料

根据砂轮的三要素、五个砂轮特性以及形状、尺寸等，砂轮可分为很多种。要想看出一个砂轮是哪种砂轮是很难的。虽然其尺寸和形状可以直接测量出来，但粒度、硬度、组织等从外观是不可能准确看出来的。通过检测来简单了解其参数也是不可能的。

对于新的大砂轮（外径在100mm 以上），每片砂轮都必须贴上一张标签（见照片）。

对于小砂轮，每个包装中有一张标签。

使用砂轮时必须清楚砂轮的种类。

砂轮种类的表示方法如下图所示。此外，外径大于100mm 的砂轮，其表示方法中还要加上最高工作速度(m/min）和制造编号。

下图中所示内容横竖对应，以便说明。

## 砂轮表示内容如下

| **1·A** | 205×19×15.88 | **WA** | **80** | **K** | **7** | **V** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 形状及缘形 | 尺　寸 | 磨　粒 | 粒　度 | 硬　度 | 组　织 | 结合剂 |

形状及缘形：
- 形状：**1号**、2号、5号、6号、7号、11号、12号、13号
- 缘形：**A**、B、C、D、E、F、M、N、P（缘形1号·5号·7号适用）

尺寸：外径×厚度×孔径

磨粒：**WA**、A、MA、STA、RA、GC、C

粒度：10号、12、14、16、20、24、30、36、46、54、60、70、**80**、90、100、120、150、180、220、240、280、320、400、500、600、700、800

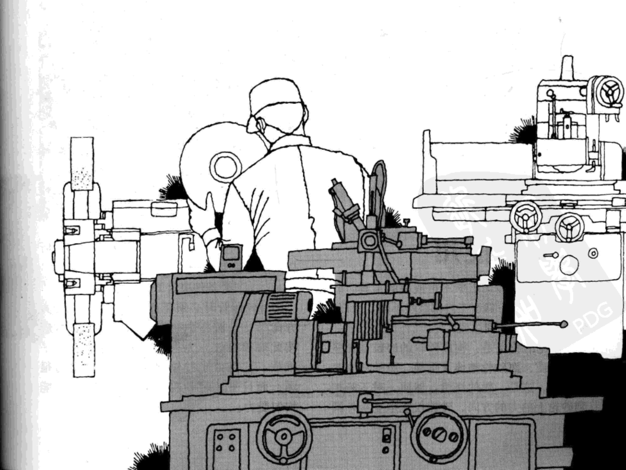
硬度：E、F、G、H、I、J、**K**、L、M、N、O、P、Q、R、S、T、U、V、W、X、Y、Z

组织：0、1、2、3、4、5、6、**7**、8、9、10、11、12、13、14

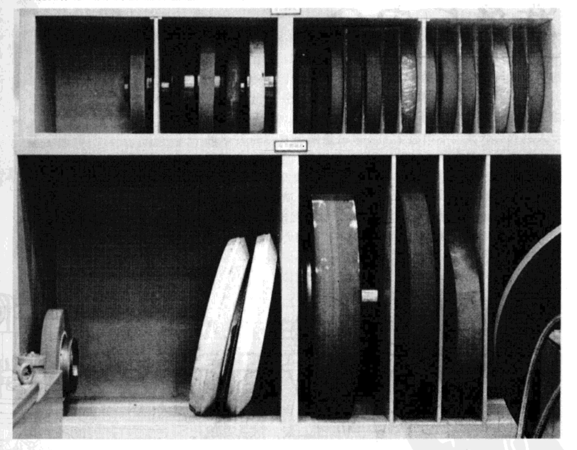
结合剂：**V**、S、E、B、R

例子中的文字用大号黑体字表示

# 准备与安全



▼砂轮保存时应按图中所示方式摆放



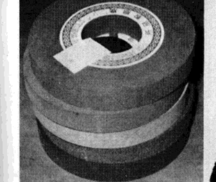
# 砂轮的使用

砂轮是磨削加工中不可或缺的工具。砂轮与其他任何刀具、工具都截然不同。所以，使用砂轮时要特别注意。

砂轮的特点是：构成砂轮的磨粒是很坚硬的物质，而砂轮整体又很脆。脆的物体容易打碎，这是一般的规律。然而，对于施加到砂轮上的力的方向，砂轮仅能承受从外圆指向轴心的力，不能承受其他方向的力。所以，砂轮适于高速回转。

以上三个条件决定了砂轮的使用条件。

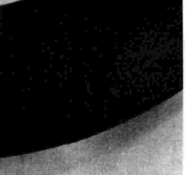
砂轮保管时必须竖直放置。砂轮的受力方向应从外圆指向轴心。因此，放置时应按此规律摆放。为稳妥起见，绝不能水平堆放。这是由于砂轮承受横向力的能力很弱，而且平放时砂轮整个平面上也不可能均匀受力。



▲不能水平堆放



▲搬运时不小心造成的缺损



▲夹紧力不均匀造成的断裂

虽然砂轮受到从外圆指向轴心的力时，强度较大，不易损坏，但整体还是很脆的。因此移动时要轻拿轻放。大的砂轮移（滚）动时，应在台面上铺几层厚布。

由于质量大，搬运时不小心会造成损坏或断裂。

在安装砂轮法兰盘时（见第24页），要仔细观察（即“目视”），并注意破损情况。要仔细辨别木锤敲打时的声音，好的砂轮声音清脆；断裂的砂轮声音就不清脆了。虽然砂轮出厂时制造商应该做了检查，但也可能在运输途中破碎。

法兰盘夹紧力不均匀时，也会出现断裂、损坏。对于大型砂轮及内磨用小砂轮，夹紧力过大时，会造成砂轮断裂。

另外，砂轮中心部位一般贴有制造厂的商标。虽然该商标是厂商用来宣传的，但不能随便揭掉。安装法兰时，可将商标纸当成法兰盘金属面与砂轮端面的垫片，这张厚纸可以吸收一些不均匀的力，不会使压力作用于一点而发生应力集中。

第20页给出了标有砂轮尺寸、磨粒、组织、粒度等参数的贴纸。直到砂轮使用前这张标签都不能揭下来。多数人都不清楚砂轮的尺寸、磨粒、组织等，如果把贴纸揭掉，就会带来很多麻烦。



◀可通过木锤敲击时的声音来判断砂轮有无裂纹

# 法兰盘的安装

砂轮不能直接装到磨床上。首先要把法兰盘（flange）装到砂轮上，再通过法兰盘将砂轮装到磨床上。法兰盘由法兰底盘、凸缘、盘框等组成。

总的来说，每台磨床都有法兰盘，

各个制造厂生产的法兰盘在结构形式上多少都有些区别。但是，其原理大体还是相同的，使砂轮两侧面全部均匀受力夹紧，避免出现一个地方集中受力的情况。

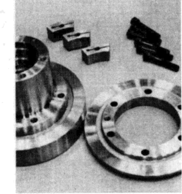
砂轮的孔径一定要与法兰盘的尺寸相符。砂轮的内孔棱缘应与法兰盘内侧角缝对应，此处仍然存在受力集中的问题。为避免上述情况，要清理干净法兰盘内侧角缝处的焊剂。

法兰盘与砂轮相配合处要处理干净。把砂轮装入内侧法兰底盘，再把外侧法兰盘水平放在上面。在螺孔中拧入 2 根螺栓，两手水平往下压。拔出螺栓时，一只手一边从上部按压，另一只手一边慢慢左右转动。如果没有不合适的地方，就会灵活地转动。如果砂轮没放正，就会出现“咯啦咯啦”卡住的声音。

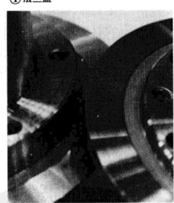
砂轮的孔径与法兰盘的配合间隙不宜太小。如果砂轮孔径小，装入时用力过大，反而不好。一般情况下，砂轮的孔径都要大些。用一只手按住内侧法兰底盘，而另一手搬砂轮试试。如果松动，就应重装。在这种情况下，可用塞尺测出间隙，然后缠上纸带来消除间隙。

接下来，装入外侧法兰盘，如果没有异常情况，可用手拧入紧固螺栓，然后用扳手拧紧。拧紧顺序是将位置相对的螺栓交互拧紧。如果不这样做，就可能使一个地方受力过大，而对应的螺栓受力过小，造成局部拧得过紧，砂轮受力过大，很危险。

拧紧时，不能一下子拧死，应该把所有螺栓都轻轻拧上，然后再按相同顺序拧紧。另外，尽可能使所有螺栓的拧紧力都一致。要做到这一点，仅用手感知拧紧力是不行的，应该使用转矩扳手拧紧，这样才能保证各螺栓的拧紧力相同。



①法兰盘



②法兰底盘内侧的角焊缝



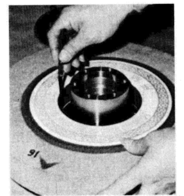
③把内侧法兰底盘擦干净


④砂轮装入内侧法兰底盘


⑦压住法兰底盘并用力扳砂轮

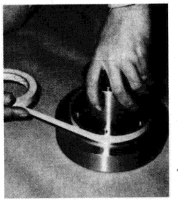

⑩拧紧螺钉侧

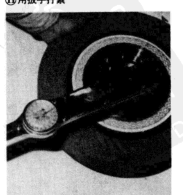

⑤装入外侧法兰盘


⑧试插入塞尺


⑪用扳手拧紧


⑥转动外侧法兰盘


⑨尺寸过小时可缠上纸带


⑫用扭矩扳手拧紧，使紧固力大小一致

# 砂轮的平衡

为了方便调整砂轮的平衡，制造商在砂轮轻的一侧印上箭头。箭头处的数字表示“克数”。加上表示克数的质量,砂轮就能平衡了。

虽然标出了“克数”，但不能在砂轮的外侧加上平衡质量，这个平衡质量要加在法兰盘上。由于砂轮是高速回转的，因此一点儿不平衡都会导致磨床振动，并且会产生危险。

砂轮平衡时，可使用照片中所示的平衡架。平衡架要用水平仪调平，如不调平，平衡就没有意义了。

使砂轮装上法兰盘时，法兰盘的孔要擦净，再把平衡用的轴装好，用螺母拧紧。这与以往磨床砂轮主轴上安装砂轮的方法相同，然后将其放到平衡架上。

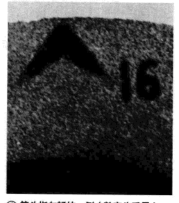
放上之后，砂轮比较重的部分向下转动，比较轻的部分(即印有箭头的部分）会转到上面并停下来。

之后，把装在法兰盘上的平衡块调到轻侧，并用螺钉固定好。如果说只调了一圈就平衡好了，那是不可能的，没那么简单。当然，几乎没有与不平衡量完全对应的平衡块， 砂轮圆周上的不平衡量与其到中心的距离有关，在法兰盘上调整时，需要2~3个平衡块，可通过改变不同的位置来达到平衡。

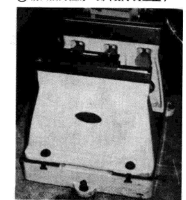
正确的平衡法是在箭头横向调整，使其慢慢停住。

本页所示的平衡架，除了有两根平行圆棒外，还有两片薄的能自由转动的圆板放在平衡的砂轮轴两边。除此之外，也有天平式的平衡台。

另外，利用平衡原理检查机床振动时，也可利用频闪式测振仪，将其装在机床上随时进行测量。



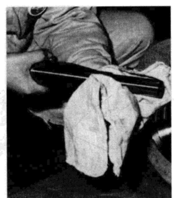

① 箭头指向轻的一侧（数字为重量）



② 平衡架调平后使用



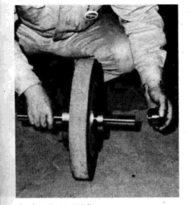
③ 清洁法兰盘的内侧



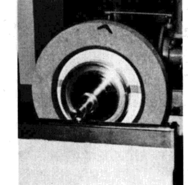
④ 心轴要擦干净……



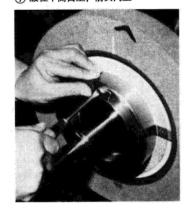
⑤ 将心轴插入法兰盘



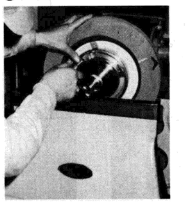
⑥ 套上螺母后拧紧



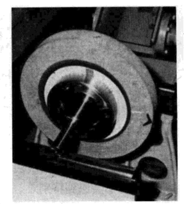
⑦ 放在平衡台上，箭头向上



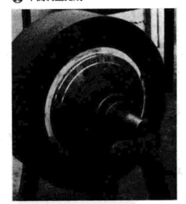
⑧ 把平衡块移到轻的一侧



⑨ 用螺钉固定平衡块



⑩ 平衡调整完成



⑪ 在圆盘中间支撑的形式



⑫ 用频闪测振仪来修正

# 外圆磨床和平面磨床砂轮的安装

将法兰盘装到砂轮上，平衡后再把砂轮安装到磨床上。

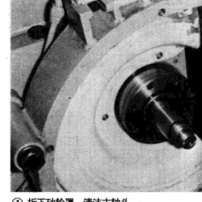
在磨床上安装砂轮时，只要具备机械加工工人应掌握的基本常识，就不会遇到特别难解决的问题。磨床主轴头和法兰盘内侧都要擦干净，两者之间不能有灰尘等脏东西。好不容易做好的砂轮平衡，因为有灰尘等脏东西，就可能失效。所以必须做好安装、紧固的工作。

在外圆磨床上安装砂轮时，由于要安装的物体比较重，必须双脚站稳、双手配合才能做好。

对于标准平面磨床，是从磨床的正面进行安装，安装工作起来比较容易。

装上砂轮后，用螺母拧紧，再盖上砂轮罩，确实固定好。

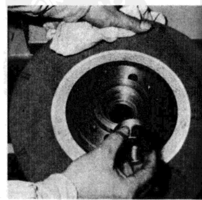
对于大型磨床，砂轮又重又大，安装时要用起重机来吊运，必须由两个人合作完成。



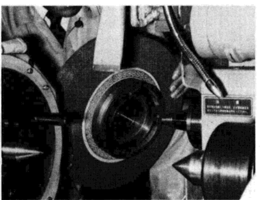
① 拆下砂轮罩，清洁主轴头

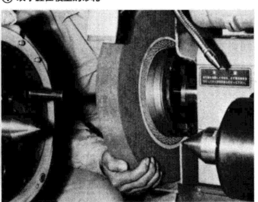


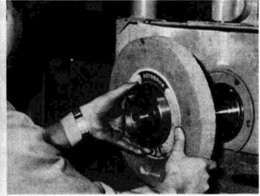
② 擦净法兰盘内孔

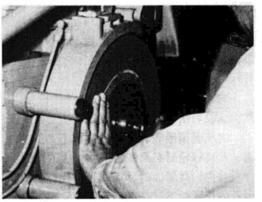


③ 将螺母拧入法兰盘内

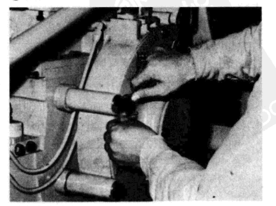

④ 双手握住较重的砂轮


⑤ 装到砂轮轴上


⑥ 从正面装到平面磨床上


⑦ 将砂轮牢固地装到轴上


⑧ 拧紧螺母


⑨ 盖上砂轮罩

# 内圆磨床砂轮的安装

内圆磨削用的砂轮，一般因体积小，常常不贴标签。当然，也没有法兰盘结构，而是直接用螺栓在内孔处紧固。

内圆磨削砂轮转速高、体积小、强度低，这些弱点加在一起，安装砂轮时必须注意采取相应的措施。

首先，在紧固时，用厚纸替代标签，将其按砂轮的外径与内孔的尺寸剪下，垫在砂轮承受紧固力的两个侧面上。

然后，在安装轴与螺栓上分别用一个扳手用力，适当拧紧。所谓“适当”，就是慢慢地用力，不能过猛过快，实际操作中必须这样。砂轮的直径、厚度、组织等各不相同，承受紧固力的能力就各不相同，只能凭感觉用力。

砂轮的安装轴以及磨床的砂轮主轴，都是用螺纹联接的。因此要用两个相同的扳手，同时反向拧紧。

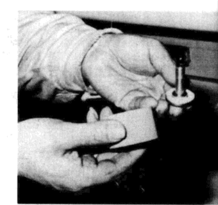
砂轮的安装看来很简单，其实仅仅做到这些是不够的。对于小砂轮，若不是一遍一遍地仔细调平，砂轮孔与紧固螺栓之间就会存在间隙。再加上其上伸出的安装轴较细长，并且要高速旋转。

如果存在不平衡，安装轴旋转起来就会产生振动，进而产生颤振（自激振动），这是最危险的。因此，可按下砂轮起动开关，用指示表检查振幅。

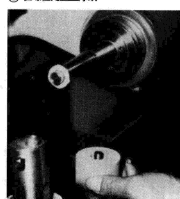
此时，若振幅较大，则不要做回转试验，要重新安装砂轮，有时稍稍调整一下就可调平，有时则必须返工。

有经验的操作者，不用每次都用表检查，仅用金属片在砂轮上碰一碰就可感知振动的幅度。也有人用手指触摸，但这是很危险的。

如砂轮大，孔径就大。孔径大到一定程度时就要安装法兰盘。内圆磨床上安装带法兰盘的砂轮，其安装方法与外圆磨床的安装方法基本相同。



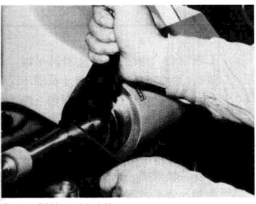
① 在螺栓处垫上厚纸……



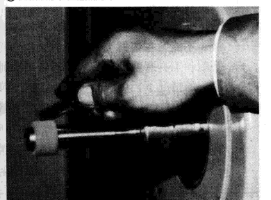
② 垫到安装轴上

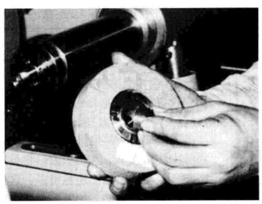


③ 适当拧紧螺栓

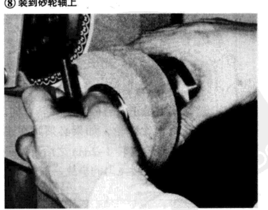

④ 将安装轴拧入砂轮主轴

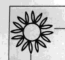

⑤ 用指示表检查轴的振动


⑥ 用金属片轻触砂轮以感知有无振动


⑦ 大直径的砂轮上要安装法兰盘


⑧ 装到砂轮轴上


⑨ 用扳手拧紧

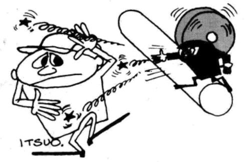


# 安全规程

磨床加工与其他机床加工不同，必须特别注意安全。这是因为砂轮虽然很坚硬，但与金属相比还脆得多，这样的砂轮还要高速旋转，如发生事故会直接关系到生命安全。

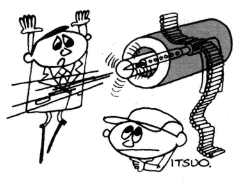
首先，要遵守砂轮使用原则（见第22页）。绝不能使用有裂纹的砂轮，在磨床上安装砂轮时不能碰坏。在按下砂轮转动的开关后，不能正对着砂轮站立。

对于卧式平面磨床，操作时站在磨床的正面还比较安全。对于外圆磨床，操作时站在磨床正面是很危险的，因为




这基本上是正对着砂轮的回转方向。尤其是对于大砂轮，如果必须站在正面，则须等砂轮空转1~2min之后再站过去。因为砂轮爆裂飞出的事故一般就发生在这个时间段。

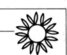
对于内圆磨床，由于砂轮小，砂轮的安装轴较细，承受不了不平衡引起的振动。调平过程中不能突然旋转，应该反复点动2~3次，确定砂轮的安全状态。



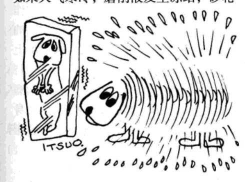

这段时间内可以判断出轴的振动情况和砂轮有无裂纹。

外圆磨削和平面磨削都要加磨削液，不能站在切屑飞出的一侧。在内圆磨削和工具磨削等干磨削（不使用磨削液）的情况下，切屑会飞散。切屑颗粒小，速度快，而且温度高，因此必须佩戴防护眼镜。修整砂轮时更需要戴。





如午间休息要停工时，砂轮停下后，不能马上重新起动。这时候，磨削液关闭，砂轮空转数分钟直至砂轮完全停下来，进入气孔的磨削液不再受力的作用（离心力为零）。停止后，砂轮内部的磨削液存留在砂轮的下部，若此时起动砂轮，会由于不平衡而发生事故。如果天气寒冷，磨削液发生冻结，砂轮



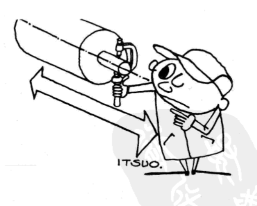

就会冻裂。

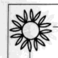
另外，测量时要注意，外圆磨削时的测量方法与车床的测量方法一样，在身前使用千分尺，要注意别碰伤手（见第 80 页）。内圆磨削时，使用内径指示表和塞规测量。原则上要等砂轮停下来之后才能测量（见第 94 页）。拔出塞规时，若不小心碰上转动中的砂轮也会擦伤。

不管怎样，如果被转动中的砂轮碰伤了，是非常难治的，也很痛苦。如果被普通的利器碰伤，且仅伤了皮肉，一定要消毒、缝合、复位。

但是如果被砂轮碰伤，会直接磨到皮肉，只能依靠自身的愈合能力恢复，直到长出新皮。但是相对割伤，被砂轮碰伤要花费更多时间才能愈合。

因此，要特别注意安全。





# 磨床的使用

磨床是一种精密机床。对于磨削加工来说，尺寸精度、加工表面形状精度等要求都很高。所以，同其他类机床相比，磨床使用时要特别注意。

无论什么机床都是一样，当机床长度大时受温度变化的影响较大。如果形状相同，仅仅长度大，那就仅有伸长、缩




短的变化。而对于车床的床身，由于其断面形状大不相同，因而沿床身长度方向各处伸长并不相同。由于早晨、温度升高的中午以及运行造成的机床温升等温度变化，会使得床身产生弯曲（弯曲程度不是很大,其实就是小程度的挠曲）、扭曲等变形，当然会影响加工精度。

对于磨床专用的液压机构，其往复运动与无级变速两种功能结合在一起，因此这种液压机构在磨床中使用非常合适。

这种液压机构所用的液压油,会随着磨床运行的温度升高而升温。磨床工作状态的变化使得油温上下波动，液压油通过油管流经整个磨床。液压油温度上升，从而影响着整个磨床。

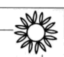
所以，同样是床身，无论是外圆磨床，还是内圆磨床，磨床床身与车床床身的温升原理有着根本的不同。因为磨床




的床身是一个整体箱式结构。

由上述情况可知，缩小磨床的温度变化是最重要的。





① 在工厂厂房里，一定要避免把磨床放在靠近窗户且有阳光直射的地方。因为日光照射会使磨床变形。如果没办法避开日光，可在窗户上挂窗帘遮住阳光。但要是条件允许应尽量将其放在离窗户远一些的地方，避免阳光直接照射。

如果厂房较大，为了避免冬天因开、关门导致冷风进入，应尽量将其放在车间中间，不要放在厂房门口。

② 为了避免受液压设备油温变化的影响，要在设备工作0.5h前预热（只起动液压设备）。

午休时也不要关闭磨床，要使其空转，这样可以避免由于油温变化而引起的床身和工作台变形。

③ 由上述说明可知，在磨床附近不要放置冬天用的取暖设备（如火炉、干燥机等），这可根据工厂的规模而定。

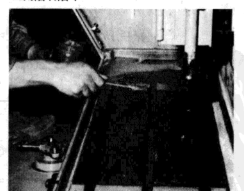
④ 用外圆磨床进行精加工时，通过厂家加工实例证明如果能使磨削液不溅到工作台上，可以把尺寸误差缩小至1μm。

⑤ 不要在砂轮停止运转后，强制给砂轮轮轴、工作台等从动设备加油。所以，尽量不要使砂轮停止转动。

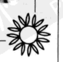
⑥ 对于平面磨床，要把固定安装电磁吸盘的工作台平面清洁干净，涂上黄油，以免不常接触的地方生锈。



▲用磨石磨平



▲在磁铁吸盘平面部分涂上润滑脂



# 磨削液

用其他设备切削时，一般也都使用切削液，大多用油类切削液。

如果是磨削加工，就要使用磨削液，但油类磨削液只能用在磨削特殊材料上。

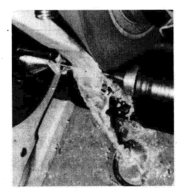
那么磨削液到底都用在什么地方上呢？主要用于润滑和冷却。所谓润滑，就是液体渗透到磨具与工件的磨削弧内，形成润滑膜，以减少界面之间的摩擦，从而达到降低磨削力、减缓磨粒的磨损、延长砂轮寿命的作用。所谓冷却，就是迅速吸收热量以减少工件温度上升，保证工件尺寸精度，防止表面烧伤。

磨削液并不是什么特殊的油，在 JIS 中也可以作为切削液使用。只是因为被用于磨削上的磨削液不是油而是水溶性液体，所以被称为磨削液。

磨削液主要是起冷却的作用。实际磨削时，由于工件和砂轮摩擦的时间以及距离都很短，高速磨削硬度大的工件时产生的高温会导致一系列问题。

因为磨削硬度大的材料会产生火花，所以应大量使用以水为主要成分的磨削液。

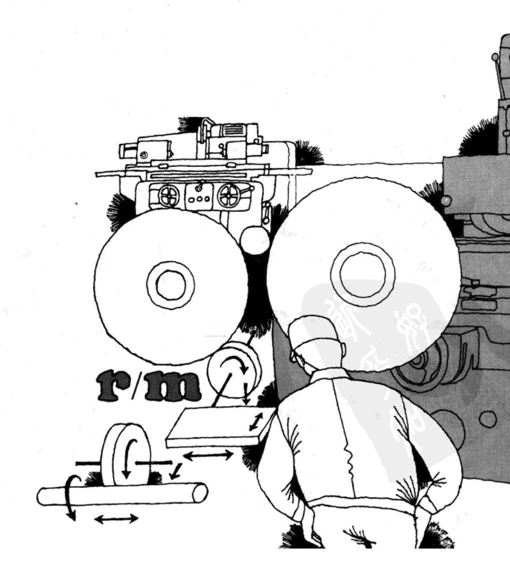
大量使用磨削液既可以起到冷却作用，又可以避免磨削过程中因工件与砂轮之间的摩擦而产生划痕（见第 62 页）。



**▲大量的磨削液**

另外，所有的新型磨床上都安装了用磁性过滤器。对于没有安装此设备的磨床，会想办法在磨粒和工件都碰不到的磨削面处安装一个滤网（过滤器）。

# 磨削条件



# 研磨、磨削与切削

对于磨削是用“研磨”还是用“磨削”的争论，现在已经平息。在日本，表示“磨削”时一般都使用“磨削”这一词，无论是理论还是现实中，都得到了证实。尽管如此，“研磨”这一词现在仍然被广泛地使用着。

那是因为后来有人认为“研磨”、“磨削”这两个词不同，不知道哪个词正确。以前“研磨”、“磨削”这两个词的使用很混乱，下面就以上两个词作如下说明。

确实，过去读、写都曾使用过“研磨”这个词。因此，磨床写为“研磨盘”。虽然上文提到过去，但是在日本明治维新以前，即机械技术没进入日本以前，日本人只使会用砂轮磨削刀具。换句话说，砂轮是为磨刀具而制造的。当时所说的刀具通常主要是指武士使用的刀（日本刀）；其次是指木工用的刀具，如锯子、刨子、凿子等；此外，还指砍柴用刀具，如斧子；或者厨师使用的菜刀；还有农用的镰刀。



因为这些工具当时都使用砂轮磨，所以使用了“砥ぐ”或者“研ぐ”的日本字。

而且金属制的镜子进行抛光时也使用砂轮。

“研”表示“磨”，“磨”表示“抛光、磨损”，所以“研磨”两字表示使用砂轮的加工操作，而且，现在所说的粗加工是靠人力旋转圆形的大砂轮进行的加工。

在日本，由于近代机械工程学的发展，从先进工业国进口了磨床，由于当时英语中的 grind 是“研”和“磨”的意思 grind stone 是砂轮的意思，所以称为砂轮。

还有，hone 的英语也翻译成砂轮，即磨剃头刀用的砂轮。此外，珩磨机（见第 156 页）也是机床的一种。

还有，使用磨削的方法可加工用刨刀加工不了的硬材料（金属）。为了获得高效率，要弄清楚砂轮磨削的原理。



如果把磨削用工具放大，可认为它可以加工出同车刀、铣刀等形状相似的工具，这已经得到证实。由此可以得知那不是“磨”而是“切”，即从“研磨”变成“磨削”。

但是，因为以前用“研磨”这个词时培养出了许多磨工，所以跟师傅学成的磨工现在还仍然使用“研磨”这个词。

另外，尽管与车刀的切削刃类似，在理论上也都称为“磨削”，但是因为还要用来磨刀具，从要磨刀具的方面来讲，仍然没有脱离“研磨”这两个字，所以“研磨”这一用语至今仍然被使用着。



▲磨镜（七十一个工匠大赛＝东京国立博物馆藏）

另一方面，作为日语使用方法的一部分，制定日文汉字时，没有“磨”字，所以使用了同音异义的“摩”。因为在学校不教“磨”，而是教“摩”，所以在这种情况下培养出的人都使用“摩”。因为还有许多是在早期培养出来的人，所以出现这两个字在工学上混用的现象。

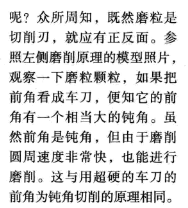
由于以上原因，即使使用“磨削”这个词，也无法知道是否指的是“切削”。但是，如果用砂轮磨削，指的就是“磨削”这两个字。

# 砂轮的磨削原理

如果有人想知道用砂轮磨削时什么状态下效率最高?

可以把磨粒比作铣刀，因为砂轮上的每个磨粒都是切削刃，这如同转台周围有很多切削刃，所以和铣刀功能相似。

那么磨粒又是如何磨削呢？众所周知，既然磨粒是切削刃，就应有正反面。参照左侧磨削原理的模型照片，观察一下磨粒颗粒，如果把前角看成车刀，便知它的前角有一个相当大的钝角。虽然前角是钝角，但由于磨削圆周速度非常快，也能进行磨削。这与用超硬的车刀的前角为钝角切削的原理相同。



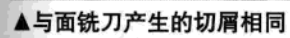

▲磨削原理的模型照片

而且为了证实磨粒切削，可用放大镜或显微镜观察其磨削情况，会发现如照片所示，其切屑与用车刀和铣刀切出的切屑相同。

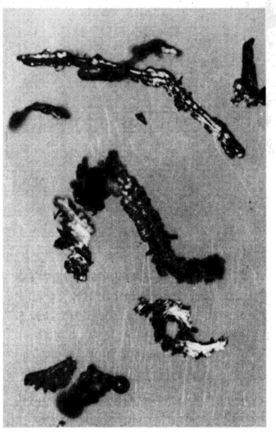
特别是用非常尖的磨粒切削时，其切屑就与螺纹车刀切削后的切屑相同，会形成齿形。

不仅砂轮切削时会使刀具磨损变钝，用车刀和铣刀切削时也会出现刀头磨损变钝而切不动的状态。用砂轮切削时，如果磨粒磨损，作用在磨粒上的抗力就会不断增大，当压力大到一定程度时，有的磨粒会自动崩碎损坏。





▲与面铣刀产生的切屑相同



▲把切屑一部分放大，与螺纹车刀加工出的切屑相似

这样会形成新的尖的切削刃，进而更有效地工作。当压力超过结合剂的粘结力时，磨粒会有一些脱落，钝化了的磨粒自行崩碎或脱落，使砂轮保持锐利的特性称为“自锐性”。

与用铣刀切削不同，砂轮有较好的自锐性，在适当的条件状态下，可以提高砂轮的切削性能而连续工作。

综上所述，就是磨削原理。此处主要说明了磨粒的缺损问题，并不是因为没选用比工件更硬的砂轮而造成的。崩刃是指裂开。

砂轮是脆性物体，与用锤子打石头不同，石头不是脆性的，砸冰糖和煤炭时，才能体会出什么是脆性的。

磨硬材料时，磨粒容易钝化，应选用软砂轮，以使砂轮锐利；磨软材料时，砂轮不易钝化，应选用硬砂轮，以避免磨粒过早脱落而损耗。



# 砂轮的圆周速度

磨削加工主要是靠砂轮的圆周速度（旋转运动）磨削工件，不像车刀那样，把其安装在车刀架上，就能加工工件。因为砂轮不运动就起不到磨削的作用。

砂轮的圆周速度在磨床上是非常重要的。砂轮圆周速度的求解与车床的切削速度（工件的圆周速度）和铣刀的切削速度相同。计算公式为

$$v=\frac{\pi Dn}{1000}$$

式中 $v$——砂轮圆周速度（m/min）；

$D$——砂轮直径（mm）；

$n$——砂轮每分钟的转速（r/min）。

砂轮转速在磨床上几乎不变。

在外圆磨床上，主要由电动机经带轮、传动带传动进行磨削。电动机的转速与带轮的直径比固定不变。平面磨床电动机轴和砂轮的主轴相同时，电动机的转速和砂轮转速一致。因为内圆磨床是由高频电动机直接带动或者是用带轮或传动带增加转速，所以会发现电动机的转速和砂轮转速相同。

问题是砂轮直径会因自锐性和反复的修整而渐渐变小，因此圆周速度也越来越小。

另外，使用内圆磨床时根据工件的尺寸不同，而需要经常调换砂轮，由于砂轮调换，导致砂轮尺寸成倍变化，而且每次要调换砂轮轴的带轮很麻烦。由此可知，砂轮的圆周速度不一定合适，也未必一直正确。

但是，正因为砂轮的圆周速度很重要，所以要根据磨削加工方法、工件材料、砂轮和工件的接触状态、砂轮硬度、结合剂的种类等调整砂轮。

**表 1 陶瓷砂轮的使用圆周速度**

（单位：m/min）

| 加工种类 | 使用圆周速度的范围 |
|---|---|
| 外圆磨削 | 1700~2000 |
| 内圆磨削 | 600~1800 |
| 平面磨削 | 1200~1800 |
| 工具磨削 | 1400~1800 |
| 刀具刃磨 | 1100~1400 |
| 湿式工具磨削 | 1500~1800 |
| 硬质合金刀具磨削 | 900~1400 |

一般情况下，用于磨削加工的砂轮圆周速度见表 1、表 2。

那么，当砂轮圆周速度不正确时，该如何修整呢？这种情况下只能调整砂轮或带轮。

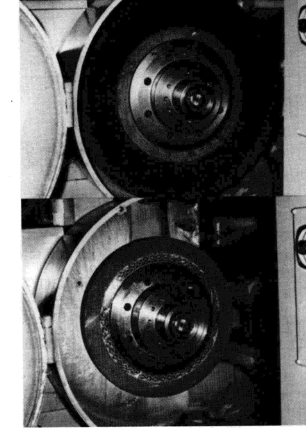
说到调整砂轮，内圆磨削用的小砂轮不在修整范围之内。之所以用于内圆磨削的小砂轮不能随意调换，是因为调换下来的小砂轮还可以使用，所以要连同法兰盘一起原封不动地保存起来。

因此，要多准备几个法兰盘。虽然可以更换带轮，但是因每个带轮都要特制，所以没必要准备太多。

最后来简单谈一谈砂轮圆周速度对磨削工件的影响。

一般来说，砂轮的圆周速度越大，磨削力和砂轮损耗量就越小，磨削量越多，产生的磨削温度越高。

相反，砂轮的圆周速度越小，磨削力和砂轮的损耗量越大，磨削量越少，磨削温度越低。



▲以上的新型砂轮与过去相比小多了，而且转速相同，砂轮的圆周速度也小

**表 2　与砂轮形状对应的圆周速度**　(单位：m/min)

| 砂轮的形状 | 陶瓷砂轮 | | | 树脂结合剂砂轮 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 软 | 中 | 硬 | 软 | 中 | 硬 |
| 平形<br>锥形 | 1676 | 1829 | 1981 | 1981 | 2438 | 2896 |
| 单面凹形<br>双面凹形 | 1676 | 1829 | 1981 | 1981 | 2438 | 2896 |
| 燕尾形<br>(锥) 碗形<br>碟形 | 1372 | 1676 | 1676 | 1829 | 2438 | 2896 |
| 碗形 | 1372 | 1524 | 1676 | 1829 | 2286 | 2743 |




# 工件的圆周速度

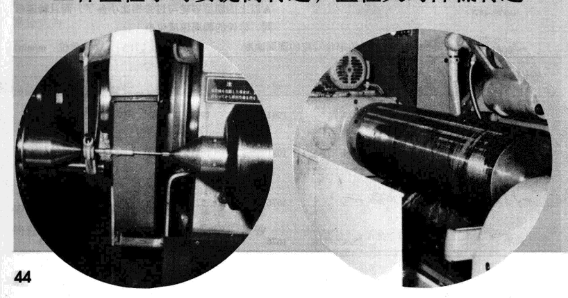
磨床加工特点之一就是有两个圆周速度。一个是砂轮的圆周速度，另一个就是工件的圆周速度。当砂轮和工件同时旋转时，工件的圆周速度等于砂轮的圆周速度。砂轮的圆周速度是指，在平面磨床上，工件不回转而只作平面直线运动时砂轮的运动速度；工件的圆周速度是指，在回转工作台式平面磨床上工作台上的工件的旋转速度。

工件的转速及进给速度（平面磨床时）比砂轮的圆周速度小得多。在外圆磨削和平面磨削中，工作的转速一般是砂轮速度的 1/100~2/100。

当然，工件圆周速度，还可根据工件的材料和加工方法不同产生很大差异，工件圆周速度常用的标准值见下表。

但是，内圆磨削时，为了避免因为砂轮的直径小，砂轮圆周速度受限制或者磨削热集中，必须要提高工件的圆周速度。这种情况下，当砂轮的背吃刀量非常小时，一个磨粒切入深度有时就和磨床刻度上标注的背吃刀量相同。这种情形下，因为磨削力加大，所以常常感觉砂轮有点软。如果感觉砂轮

## 工件直径小时要提高转速，直径大时降低转速



**▼不同的加工方式、不同材料的工件的圆周速度不同**

（单位：m/min）

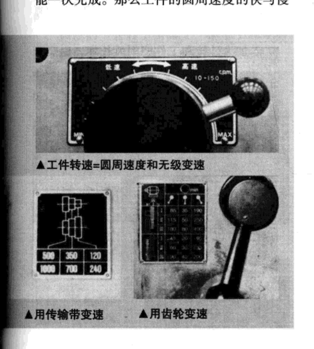
| 加工方式 | | 软钢 | 淬火钢 | 工具钢 | 铸铁 | 铜合金 | 铝合金 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外圆磨削 | 粗加工 | 10~20 | 15~20 | 15~20 | 10~15 | 25~30 | 25~40 |
| | 精加工 | 6~15 | 6~16 | 6~16 | 6~15 | 14~20 | 18~30 |
| | 精密加工 | 5~10 | 5~10 | 5~10 | 5~10 | — | — |
| 无心磨削 | 精加工 | 11~20 | 21~40 | 21~40 | — | — | — |
| 内圆磨削 | 精加工 | 20~40 | 16~50 | 16~40 | 2~50 | 40~60 | 40~70 |
| 平面磨削 | 精加工 | 6~15 | 30~50 | 6~30 | 16~20 | — | — |

有些软，则要更换一个硬度高出 1~2 级或粒度细的砂轮。

总之，无论工件旋转还是工件进给进行磨削时，都不能把新工件一次性磨削完成，同理，无论是外圆磨削还是平面磨削，都不能一次完成。那么工件的圆周速度的快与慢会产生什么影响呢？

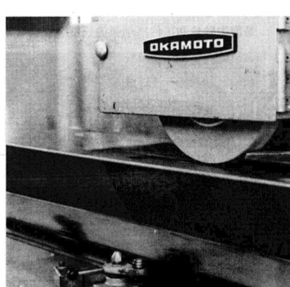
如果要加大工件的圆周速度，砂轮的磨损量及磨削力一般很大，加工面精度低。

相反的，降低工件的圆周速度，砂轮的磨损量及磨削力就会变小，精度高。



▲工件转速=圆周速度和无级变速

▲用传输带变速　▲用齿轮变速

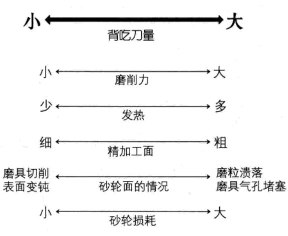


▲用平面磨削时工作台的速度相当于工件的圆周速度

# 背吃刀量




**表 1　砂轮背吃刀量的影响**

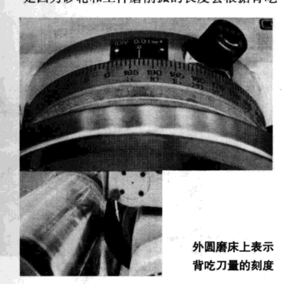



使用这类设备加工时，操作的重要参数主要是背吃刀量，这关系到刀具的寿命、效率、精度、精加工面等问题。

用磨床加工要把握好背吃刀量是非常难的，但也是非常重要的问题。之所以这么说，是因为砂轮和工件磨削弧的长度会根据背吃刀量大小而变化。

小型磨床或者内圆磨床，因砂轮小，很难感觉到砂轮和工件磨削弧的变化；但是因外圆磨床砂轮大，所以砂轮和工件的磨削弧就变大。

若加大砂轮和工件磨削弧长度，也会影




外圆磨床上表示背吃刀量的刻度



平面磨床上表示背吃刀量的刻度

**表 2　砂轮合适的背吃刀量**　　　　　　(单位：mm)

| 磨削方式 | | 加工程度 | 软钢 | 淬火钢 | 工具钢 | 不锈钢·耐热钢 | 铸铁 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外圆磨削 | 切入法 | 精加工<br>粗加工 | 0.005~0.01<br>0.02~0.04 | 0.01~0.02<br>0.03~0.04 | 0.005~0.01<br>0.02~0.03 | 0.005~0.01<br>0.02~0.03 | 0.005~0.01<br>0.02~0.04 |
| | 纵向法 | 精加工<br>粗加工 | 0.005~0.015<br>0.015~0.01 | 0.005~0.01<br>0.02~0.04 | ~0.005<br>0.005~0.01 | —<br>— | 0.005~0.01<br>0.015~0.04 |
| 无心磨削 | | 精加工<br>粗加工 | 0.005~0.01<br>0.015~0.03 | 0.005~0.015<br>0.02~0.04 | 0.02~0.03<br>0.02~0.03 | —<br>0.02~0.03 | —<br>0.01~0.03 |
| 内圆磨削 | | 精加工<br>粗加工 | 0.005~0.01<br>0.015~0.03 | 0.005~0.01<br>0.015~0.03 | ~0.005<br>0.005~0.015 | ~0.005<br>— | 0.005~0.01<br>0.015~0.03 |
| 平面磨削 | 卧轴 | 精加工<br>粗加工 | 0.005~0.01<br>0.015~0.03 | 0.005~0.01<br>0.015~0.03 | ~0.005<br>0.005~0.015 | ~0.005<br>— | 0.005~0.01<br>0.015~0.04 |
| | 立轴 | 精加工<br>粗加工 | —<br>0.01~0.03 | 0.015~0.02<br>— | 0.005~0.01<br>0.015~0.02 | —<br>— | 0.005~0.015<br>0.03~0.04 |

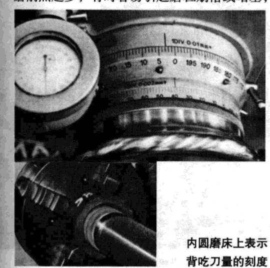
响到温度。背吃刀量的大小对工件产生的影响见**表 1**。

背吃刀量越小，磨削力越小及磨削热越少，砂轮的损耗也越少，精加工表面粗糙度减小，但是磨具切削表面有时会变钝。

相反的，背吃刀量越大，磨削力越大及磨削热越多，有时容易引起磨粒崩落或堵塞，从而导致精加工表面粗糙，砂轮损耗加大。其优点就是可以缩短加工时间。

一般，粗加工时要加大背吃刀量，精加工时要缩小背吃刀量。这和车床、铣床工作原理完全相同。但要用减小背吃刀量的方法进行精加工及调整尺寸的精度很麻烦。

标准的背吃刀量见**表 2**。



**内圆磨床上表示背吃刀量的刻度**



**无心磨床上表示背吃刀量的刻度**




# 进给量

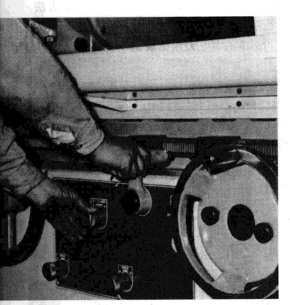
在此所说的“进给”是指工件旋转一周或一个行程（平面磨床时）时砂轮旋转的周数（多长时间）。这里说的让砂轮旋转几周（多长时间）是相对而言，让工件相对砂轮旋转的结果也是一样。

工件旋转一周时的进给量不能大于砂轮厚度。一般粗加工时，要为砂轮厚度的2/3，精加工时要为砂轮厚度的1/2。

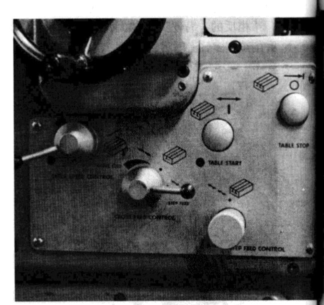
因此，即使工件相同，如果砂轮厚度变化了，就必须调整进给量，如果用进给速度表示，粗加工时应为1000~500mm/min，精加工时应小于500mm/min。

磨床工作台（工件）的进给主要是由液压缸控制的，所以可为无级变速，同时其速度也很难用数字表示。

因此，所谓的以mm/min为单位的进给速度，永远是基准。如果想知道正确的进给速度，则要用仪表测试进给磨床的进给时间，从工作台的移动距离开始计算，然后比较砂轮的厚度。

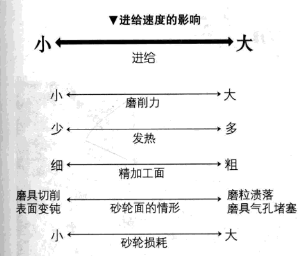


▲工作台进给速度的调整




▲包含平面磨床鞍进给调节杆在内的操作盘

▼进给速度的影响

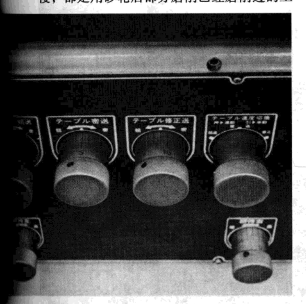



上图则是表示进给大小影响的一般趋势示意图。

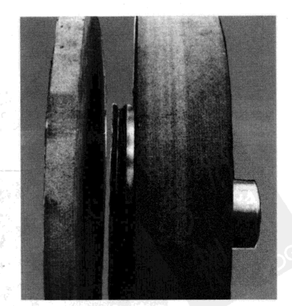
虽说是加工面，但是无论进给速度多么慢，都是用砂轮后部分磨削已经磨削过的工件，实质是无火花磨削，进给为零的磨削无论转多少转，也未必能将加工面磨削好。

这种无火花磨削一般都用于精加工面的加工中，磨削 5 次左右就可以了。

另外，液压驱动装置中液压油的粘度是根据油温的变化而变化的。因此必须事先要考虑到设备运转到午休前后时温度最高，因此工作台旋转速度也最快。

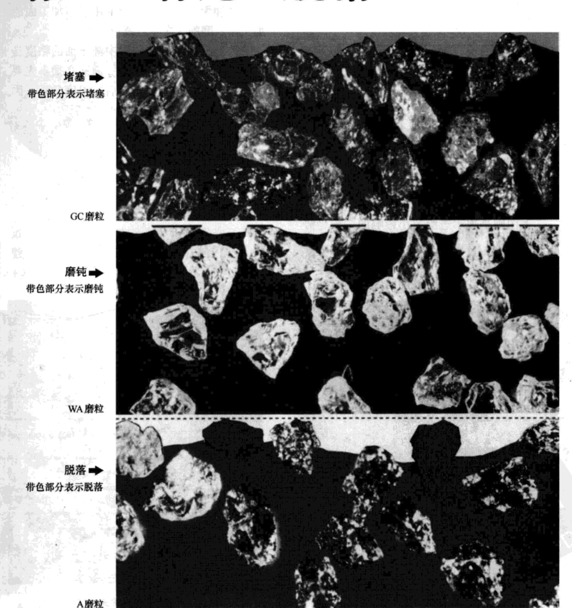


▲外圆磨床工作台调速用旋钮



▲必须根据砂轮厚度改变进给量

# 堵塞、磨钝、脱落



### 1 磨具气孔堵塞

砂轮的表面有许多凹面有空隙，这些凹面就相当于磨粒作为切削刃工作时的正面和后面。

磨粒作为切削刃工作时，切削下来的磨屑堵在凹面上的情况，即切屑进入砂轮表面的空隙中（磨具气孔）称为砂轮堵塞。如果砂轮发生这种堵塞，磨粒就不能起切削刃的作用。同时，堵塞后的砂轮就已经不能磨削了。无论怎么进给，怎么磨削工件，都只是能磨不能削，不仅如此，而且还会产生磨削热。磨具气孔堵塞的砂轮，必须马上修整，清除堵塞的磨屑。一般，磨粒越细，硬度越高，组织越密，越容易堵塞。另外，用变钝的砂轮磨削，也是易造成堵塞的原因。

### 2 磨具切削表面变钝

砂轮表面的磨粒既不破碎，也不脱落，称为磨耗磨损状态。

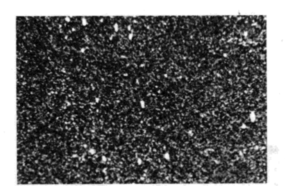
当磨粒产生严重磨耗磨损并在磨粒顶部出现明显的磨损平面时，砂轮表面会变平坦光滑。此时，切削刃的磨损总面积增大，摩擦加剧，切削刃难以切入工件表面。如果磨具变钝，砂轮的磨粒切削刃就不能作用，也就不能切削了。所以只起到磨的作用。切削表面变钝的砂轮，也必须修整，但是，因为表面变钝的砂轮硬度过高，所以要更换硬度合适的砂轮或者改变砂轮的圆周速度。

### 3 磨粒脱落

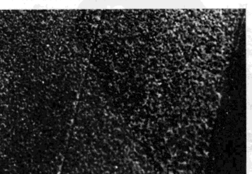
砂轮表面磨粒脱落是指外圆面出现深凹的情况，即使砂轮磨损，磨粒也不能产生自锐性。

这虽然没有大碍，但是砂轮因此就不能保持正确的工作形面，而且会给作为切削刃工作的砂粒增加很大的负荷。如果砂轮表面的磨粒再掉落，会使砂轮损耗更快或者损坏磨削后形成的面。

因此，还是需要通过修整，把切削刃修齐。



▲因切屑（白色部分）堵塞而导致磨具气孔堵塞



▲右侧出现磨具切削表面变钝

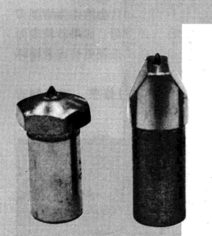
▼最一般的金刚石笔修整器，左端为金刚石

# 修整器

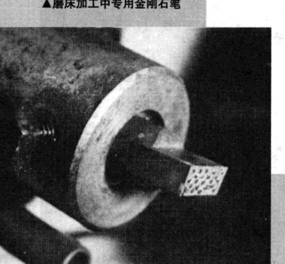
修整器是修整砂轮的工具。修整器一般使用金刚石（钻石）制作，所以也有人称其为金刚石修整器。众所周知，金刚石是地球上最硬的物质，能使修整砂轮。

金刚石是纯的碳元素在特殊条件下形成的特定的晶体。但现在工业上用的金刚石几乎都是人造的，最简单的修整工具是将金刚石压入在特制金属刀杆上制成的。虽说压入了金刚石，但是因为金刚石不是金属，所以不能使用一般的安装方法。而是要用嵌入软金属式安装。

嵌入一个金刚石的修整器，要尽量用大金刚石。那是因为使用大金刚石可以形成的锋利的、角度适中的锐角，使磨粒具有锐利



▲磨床加工中专用金刚石笔



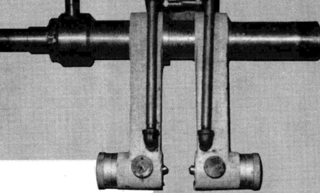
▲安装在无心磨床上的多个金刚石的修整工具



▲镶有很多金刚石的成形磨削用的修整工具



▼平面磨削用修整器



▲同时修整砂轮两面的修整器

的切削刃。即使开始尺寸大，但是在磨削过程中最后会磨成大小形状适中，使用时间很长，所以一般推荐尽量用大的金刚石，这比中途重新调换修整器的金刚石还划算。

金刚石的大小，可用克拉单位表示，1克拉等于0.2g。

压入金刚石的修整器，根据其使用磨床的不同，可以做成如照片所示的各种特殊形状。

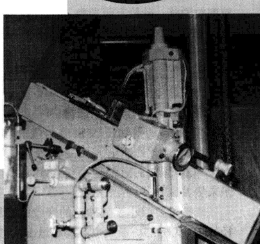
也有为了能在平面磨床上安装电磁吸盘而专门制造的修整器。

另外，也有把金刚石嵌入到层状上的修整器。为了修整切削量大的成形磨削用的砂轮，其修整器的形状为金刚石颗粒呈层状分布。

►也有这样的修整器

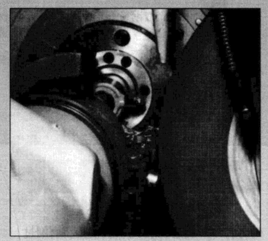


▲内嵌许多金刚石的修整器



▲被安装在斜置托板上的修整器

# 修整



▲外圆磨削　$\phi$500 砂轮的修整

修整（就是指整理）是指对由于磨粒磨损、棱角变钝、气孔被切屑阻塞而失去切削能力的砂轮表面进行的修整，也可以称为“修锐”。

所谓修整就是切削砂轮或进给金刚石，使磨粒脱落，砂轮表面光滑。

修整操作中的问题是什么时候进行修整，切入多少，进给速度多少？理想的磨削加工是靠磨粒的“自锐性”和完成使命的磨粒自然脱落的过程反复进行。

但是，实际上很多修整都很难完美，并且常常会发生加工面粗糙、气孔堵塞、磨粒脱落、磨具磨削表面变钝等现象。所以，不要等加工面粗糙后再修整，要防患于未然。

修整量要以小于其砂轮的磨粒的平均直径的 1/3 为标准。最大也不要超过 1/2，如超出 1/2 就会造成不必要的砂轮磨损。

下面来看看修整的标准条件吧。

**粗加工**

① 金刚石的进给量要以磨粒的平均直径的大小为标准，精加工用时比它稍小些。

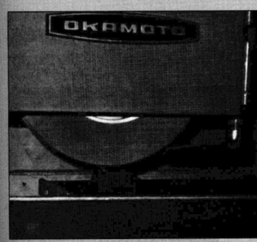
② 虽然金刚石进给量越大越好，但是最大背吃刀量（切入量）也要在 0.04mm 以下，如果背吃刀量（切入量）超出 0.04mm，金刚石磨损就大，砂轮面就不平了。

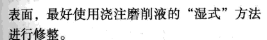
**加工面的修整**

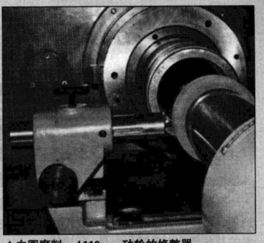
① 缩小金刚石背吃刀量和进给（速度）。

② 要结束时，在无切削的情况下修整，即光修整 2~3 次，这样一来，松动的磨粒残留下来的可能性很小，从而可以减少磨削划痕，提高加工面的精度。

另外，修整时分为浇注磨削液的“湿式”修整和不浇注磨削液的“干式”修整两种。但是为了不影响金刚钻笔的寿命和砂轮





▲平面磨削　$\phi$200mm 砂轮的修整器


▲内圆磨削　$\phi$110mm 砂轮的修整器

表面，最好使用浇注磨削液的“湿式”方法进行修整。

虽然金刚石硬度高，但是在大约 700℃ 的高温下也能燃烧，而且背吃刀量或进给量过大都会发生烧红。用“干式”修整时，如果突然在金刚石上浇注磨削液，会使其碎裂。在使用砂轮进行外圆加工时，使用最多的是 #46~#60 的砂轮。

金刚钻笔粗修整时的背吃刀量定为 0.02mm+0.01mm+0.01mm=0.04mm

精加工时定为 0.01mm+0.05mm×3+0mm×2=0.025mm 的修整是最佳的修整用量。

用以上修整用量，进行一般的加工面修整就足够了，没必要把砂轮调至十全十美。砂轮修整时，最好是在不需这么大用量时再次调整。

修整固然重要，但是更重要的是进给。原则上，粗加工时，进给量大；细加工时，进给量小。对于精加工面原理请参考第 64 页的内容。这种情况下进给速度与磨粒是相对速度，与砂轮直径的大小有很大关系。

例如：在磨粒平均直径相同且进给速度为 0.03mm/r 时进给，用直径为 $\phi$500mm 的砂轮进行外圆磨削或 $\phi$200mm 的砂轮进行平面磨削和用 $\phi$100mm、$\phi$10mm 的砂轮进行内圆磨削进给量不同。如果想得到大致相同的进给量，可以使砂轮直径小的内圆磨床加快进给速度。

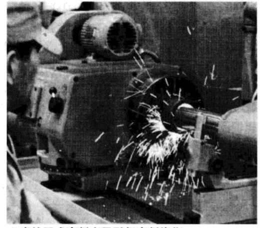
否则，在一定粗加工时的进给速度下修整砂轮时，若砂轮直径小，就可能会导致进给过慢。

# 磨削烧伤

磨削烧伤是指工件被磨削时的瞬时高温烧坏，导致工件表层组织局部变化，并且表面的某些部分出现氧化变色。

这种情况下,不仅接近工件的表面部分组织会发生变化，如表面变色，而且表面硬度也会发生变化，可能使零件不耐用。那么，在什么情况会发生磨削烧伤呢?

在进行各种金属的加工过程中，无论车床、铣刀，还是锉刀，都会出现由于切削导致温度升高的现象。在磨削中称为磨削热。况且用砂轮磨削的工件，都是用一般刀具磨削不了的硬度高的工件，所以当然会出现产生磨削热的现象。


▲当然干式磨削容易引起磨削烧伤

但是需要说明的是，如果背吃刀量小，即使高温，但热量也少，很快就会排出，用磨削液冷却就没什么问题。

因为磨削烧伤是平衡失调所致，产生磨削烧伤的原因如下：

① 磨削速度（砂轮的圆周速度）大时容易发生磨削烧伤。

② 砂轮的背吃刀量大时容易发生磨削烧伤。

③ 干式磨削时比湿式磨削时容易发生磨削烧伤。

④ 工件的导热性差时容易发生磨削烧伤。

在这些原因中，④无法改变。③如果浇注充足的磨削液就能排出，①②比较重要。因①和②是否发生磨削烧伤都与砂轮的圆周速度和背吃刀量的极限值有关。

第一个实验结果证明，背吃刀量的极限值与工件的圆周速度无关，而与工件的直径有很大关系。

如果试着把工件直径转换成砂轮和工件

的磨削弧长来考虑，可知直径越大，与砂轮的磨削弧越长，结果使得直径越大，极限的背吃刀量就越小，就越切不深。

第二个试验结果又证明，无论背吃刀量是否改变，出现在各种工件上的磨削烧伤产生的磨削弧长度几乎相同。关于这个实验可用公式描述，但是因为公式太复杂，所以此处省略了。

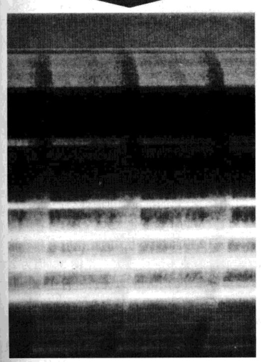
磨削烧伤因砂轮（磨粒）种类不同而不同。一般按 A、WA、C 的顺序产生，即使是同一砂轮，在同样的圆周速度下，有时也不会发生磨削烧伤。这是因为砂轮韧性小，磨粒容易脱落，如果背吃刀量加大，磨削力增加，磨粒就会自动脱落，生成新的切削刃，使与工件的摩擦力减小。

磨削烧伤很难避免。就磨粒而言，粒度越小越易发生磨削烧伤。

硬度越大，越容易发生磨削烧伤。

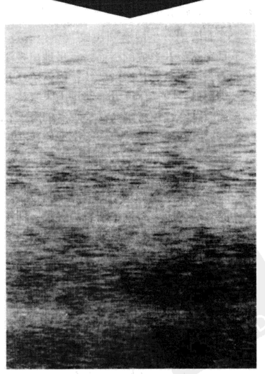
如果仔细想一想，以上所讲的都是一些常识，很容易理解。

## 外圆磨削的情况



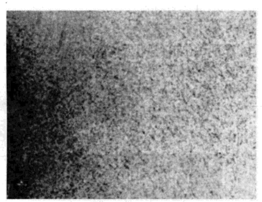
▲在切削处产生的磨削烧伤

## 平面磨削的情况



▲变黑的部分是磨削烧伤

# 磨削裂纹



▲由平面磨削产生的磨削裂纹（黑色细小的点）

平面磨削产生的磨削裂纹（黑色碎点）并不是突然裂开形成的，而是零星地出现于工件的表面。虽说是磨削裂纹，但新手还是难以辨别的。为了让读者能够用肉眼直接看清，上面是经过用特殊药品处理后的磨削裂纹。可以看到整个照片布满了微型树枝状的条纹，这就是磨削裂纹。磨削裂纹并不深，一般深度只有 0.05~0.25mm。

磨削裂纹产生的原因可能有以下几种：工件的表层内应力超过了断裂的极限，即工件因为以前加工磨削或热处理而在表层部分残留有机械应力和热应力。由于磨削时磨掉了这部分刚刚好能保持平衡的应力，导致其残余应力超过了工件的强度，由此便产生了磨削裂纹。

在所有原因中，“由磨削产生裂纹”是问题的关键所在。最大的问题就是磨削热产生的应力。因为磨削热，工件表面的局部温度迅速升高，这部分便会进行回火或者其他热处理。由于内部结构的变化和表面部分的收缩，而在拉应力的作用下产生了裂纹。

**图 1** 是通过改变砂轮的进给量，测量磨削后残余应力的一个例子。

通过这张图可以看出：

① 砂轮的进给量越大，残余应力存在的深度越深。

② 表面的残余应力作为拉应力在作用于磨削方向的同时，还可以以压应力的形式作用于磨削方向的垂直方向，而且向内部越深，应力便会急剧减少。

③ 作用于沿磨削方向和垂直方向时，先变成压应力而后突然变成与磨削方向一致的拉应力。当达到最大值时逐渐减少，最终成为微小的压应力。

**图 2** 是砂轮的进给量和残余应力之间关系的例子。通过这张图可知：

① 拉应力随着砂轮的进给量的增加会逐渐变大，慢慢接近工件材料的抗拉强度。一旦超过工件材料的抗拉强度时便会产生裂纹。

② 压应力不会变化太大。

把**图 2** 中和裂纹相关的抗拉应力和砂轮的进给量的关系继续放大就是**图 3**。因为刻度和实验条件的不同所以无法进行比较，但是几乎不变的是背吃刀量为 0.05mm 的时候，残留的拉应力最大，即使切得再深残留拉应力也不会变大了。一般认为这是磨粒脱落的缘故。

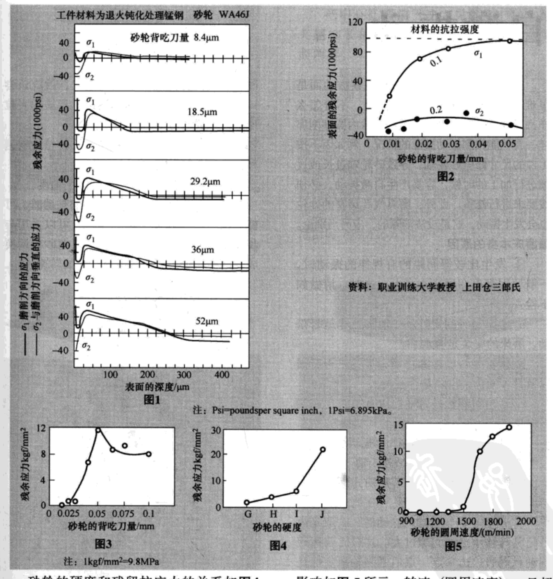



图1

图2

注：Psi=poundsper square inch，1Psi=6.895kPa。

图3

注：1kgf/mm²=9.8MPa

图4

图5

砂轮的硬度和残留拉应力的关系如**图4**所示。硬度在G、H、I、J之间，硬度越高，残留的残余应力也就越大。

砂轮的转速（圆周速度）对残余应力的影响如**图5**所示。转速（圆周速度）一旦超过1500m/min，残余应力就会急剧加大。

此外，因为工件的材料不同也有易发生磨削裂纹和不易发生磨削裂纹的差别。

# 自激振动

磨削面发生振动时，仅靠观察振动面是很难找出发生振动的振源。但是，不管怎么样都必须先排除振动。当然也有像内圆磨削那样一看就能找到振动振源的情况。例如因不按工件的尺寸修整砂轮轴，导致砂轮轴过长或过细进行加工的时候，容易产生自激振动，必须按要求进行修整。此外，磨具气孔堵塞的砂轮也会发生振动，这是没法消除的，应另当别论。

**■磨床本身的原因**

① 发生比较等间距的有规律的振动时，一般原因都出在磨床本身上。这时，请做如下检查：

a. 磨床是否固定好——地脚螺栓是否松动、磨床的安装是否水平。

b. 带轮是否磨损和松动，齿轮是否磨损以及是否啮合、齿隙是否过大。

c. 砂轮和带轮是否平衡以及是否存在端面振摆。

② 出现大振幅比较规律的振动，并且振幅左右不一致时，通常会是砂轮轴（轴圆度、挠度是否改变）的原因。若是旧式磨床，要再次调整磨削砂轮轴和轴承。

③ 出现小振幅的均匀振动时，一般是由砂轮轴与轴承之间间隙过大。这时，要边观察轴承周边，边一点一点地紧固轴承。但是需要注意的是一定要在轴向加足油，并且要小心地试运行，否则会引起磨削烧伤。

**■砂轮选择和使用方法方面的原因**

① 当等间隔振动的时候，首先应该考虑砂轮硬度是否过大。如果是这样，就应该尝试更换一个硬度稍小的砂轮，或者采用大粒度的磨粒或磨粒组织的方法。

其次，还可以尝试采取降低砂轮的转速和提高工件的转速。

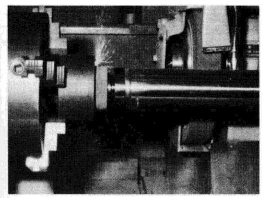
另外，还要检查一下砂轮的平衡度。

② 当发生不规则且大幅度的振动时，可能是由砂轮的硬度不足。此时，可以采用与步骤①相反的修整顺序调试，或把砂轮调换成硬度高一些的，或者提高砂轮的转速。

外圆磨削时



▲大振幅有规律的振动面



▲砂轮轴过长时会产生自激振动

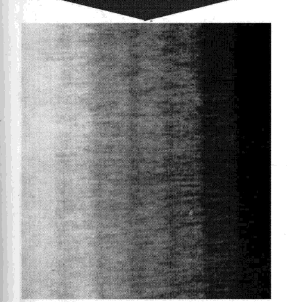
**■由于工件装夹方面的原因而产生自激振动**

① 如工件装夹不合适，即使装夹平衡度很好，也会发生不规则的振动。把中心孔清洁干净（见第 74 页），装夹越细长的工件，越是要注意用卡盘紧固两端。

尽量减少磨床两个中心孔的同轴度误差。

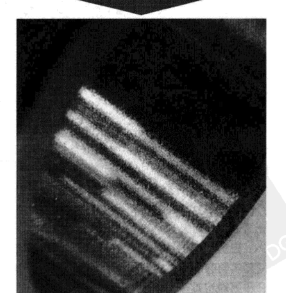
② 加工工件超过磨床能力，磨床不能加工时也会产生振动。磨床的商品样本和使用说明书上标注了振幅、中心距离和重量等的最大值。这就说明了这台磨床可以允许这 3 个条件的最大值，但是并不能在此最大值下进行高精度的加工。一般情况下，磨床可靠的加工参数应该是以使用说明书上标注的标准值的 70%左右。

平面磨削时



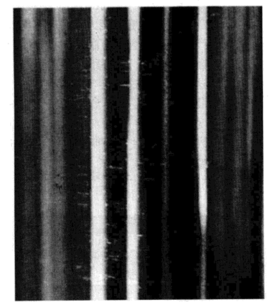
▲出现有规律的等幅的自激振动

内圆磨削时



▲由于砂轮轴过于长而产生的自激振动

# 磨削缺陷



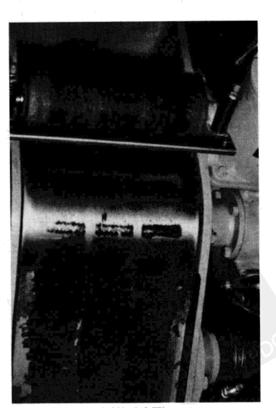
▲精加工表面上的划痕

磨削瑕疵又称划痕（擦伤、划伤），如上面照片所示，指在精加工表面上出现的不规则划痕。

这种划痕是由于磨削液中的磨屑和磨粒进入磨削部分时产生的。如果用夸张的语言来表达，磨削面就是由无数连续的磨削擦痕组成的。这一点暂且不论，先来考虑一下如何消除擦痕产生的因素，避免好不容易磨削成的加工表面毁于一旦。

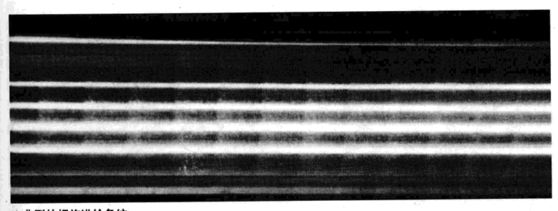
第一，清洁磨削液。磨削液从容器中通过泵供给磨削面。容器内部分成2、3层，切屑和磨粒沉淀于分开的各层底部。而且泵的吸入口处于较高的位置，也有装上过滤器的。如照片所示新型磨床一般都附有磁力分离机（用磁铁分离切屑的装置），以此来保证磨床各部件正常运转。

第二，修整的时候，要轻磨，只进给不切削，这样来清除因修整而松动的磨粒。



▲彻底清除切屑（磁性过滤器）

# 进给条纹


▲典型的螺旋进给条纹

进给条纹如上面照片所示，是由于进给产生的，这大多是由于砂轮表面和工件不平衡或者是砂轮角过于尖锐所致。

在一般情况下，认为这种情况是可以允许的。但事实上，即使采用高难度的研磨，还难免会产生比进给的宽度更细的进给条纹。

造成这种情况的主要原因是砂轮面和工件之间的不平衡。因此，要检查砂轮面和工件之间是否平衡。

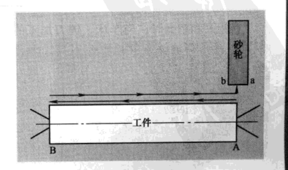
请看右图，砂轮在工件A、B之间往复进给，当砂轮到达A点时停止，即出现如上面照片中砂轮修整时的情况。

另外，当需要在不同位置修整时，也要使金刚钻笔在比砂轮宽度稍大的a、b间往复运行，但是金刚钻笔的进给应在砂轮宽度外侧的a点或b点进行。若要停止修整，最后一定要将金刚钻笔停止在a点。

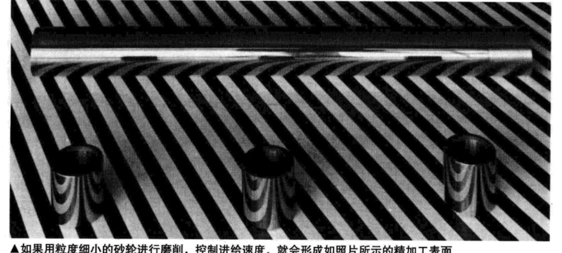
金刚石顶端太尖时，也会有些轻微磨损，因此必须选择有锥形表面的砂轮。如果不使锥形表面b侧变小，b侧角就会产生进给条纹。

若砂轮表面上的磨粒产生松动、裂纹，就会导致砂轮表面不规则，造成进给条纹。

要消除以上原因，可用金刚钻笔轻轻将砂轮修成圆角的方法，消除进给条纹。



# 精加工面



▲如果用粒度细小的砂轮进行磨削，控制进给速度，就会形成如照片所示的精加工表面

磨削加工最后一道工序就是磨削精加工面，指的是无论用车床还是铣床或者其他设备加工出来的工件，一般都需要先经热处理后再转移到磨床上进行精加工的最后一道工序。

虽说整个过程都属于精加工，但在磨削的最后一道工序的范围内，仍然分为粗磨和精磨两个过程，这一点和用其他机床加工及手工加工的情况完全一致。

在粗磨和精磨时，与车床、锉刀加工的相同点就是都能够方便地更换刀具，但背吃刀量、进给量以及刀尖形状与车床、锉刀不同。

虽说磨床的磨具是砂轮,但砂轮这种刀具却不能像车刀和锉刀那样随意更换。因为要想更换磨床的砂轮就得再进行修整。关于修整的要领请参考第 54 页。

一般的修整量要根据想要达到的表面粗糙度、磨粒的平均直径（根据粒度计算）来选择粗加工或精加工。

像粗加工那样，想在固定时间内加大磨削用量时，要加大修整的进给量（调至接近砂轮粒的平均直径）。即使会造成加工表面粗糙，也要把重点放在加大磨削量上。

虽然砂轮的磨削同铣刀的切削相似（见第40 页），但是无论从砂轮的厚度方向还是从砂轮的正面方向接近工件的状态来看，砂轮磨削如同锯齿，由很多砂轮粒形成的切削刃布满了整个砂轮。若是用加大金刚钻笔进给量的方法来修整砂轮，就会使砂轮表面粗糙，形成锯齿。因为切削刃变粗且背吃刀量变大，而切削掉的地方（气孔）又大，所

以切削量就大。

照片是 #60 的砂轮，可以看到修整的切口很深，还加大了进给量，并且加快了工件进入磨削的速度。这相当用车床加工时的中等加工精度。

当然以上列举的是一个典型的例子。但是在进行磨削时，都要经过粗磨、半精磨和精磨的过程。即使是对于同一个砂轮面，如果减小砂轮的背吃刀量和进给量，精磨面就会更光洁。

在进行粗磨和半精磨之后，要把砂轮修整成精磨用以后，再进行精磨。理想的精磨磨削的精度是根据粗磨和半精磨中所用砂轮的粒度大小来决定的。车床的精加工的原理与之相同。

用于精磨的修整时进给量要小。特别在精密磨削和镜面磨削时，因为使用磨粒相当细的砂轮，所以修整的进给量也必须相应变小。

当然若把金刚钻笔的背吃刀量缩小到小于 0.002mm，每个砂轮磨粒的尖端会带有极小的切削刃，并在砂轮表面上并排形成了一个平面。

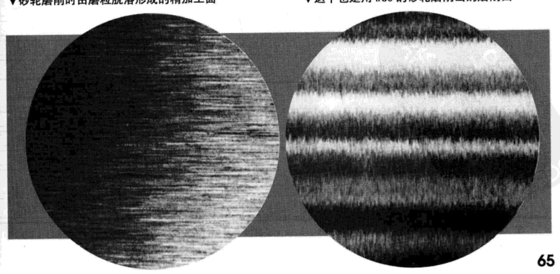
这种砂轮当然不可能切得很深。当背吃刀量调至 0.005mm 以下时，砂轮磨粒对工件的背吃刀量将再降到其 1/10 以下。随之进给量也会相应减小。最后选用光磨，即不切削只进给，从而获得光的加工面。

如上所述，要加工精密的工件，都要粗磨和精磨反复地进行磨削。但是，批量加工精度不高的工件时，不一定要把砂轮修整到精加工用的状态上。在确保砂轮磨粒锋利度的范围内，在精磨时只需通过减小背吃刀量和进给量就可以了。

这种情况，请参考第 42~49 页，需把第 42~49 页上介绍的磨削四种条件进行各种变化组合，应用到所要求的加工面上，选择最有效的方法。

▼砂轮磨削时由磨粒脱落形成的精加工面

▼这个也是用 #60 的砂轮磨削出的磨削面



# 磨削常用金属材料时

| 工件材料① | | | 磨削方式 | 外圆磨削 | | | | 无心磨削 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 砂轮直径/mm | 355 以下 | 355 至 455 | 455 至 610 | 610 至 915 | — |
| | | | 硬　度 | 小← | | | →大 | — |
| 钢 | 普通碳素钢 | 一般结构用压延钢材（SS）<br>机械结构用碳素钢（S-C，S-CK）<br>结构用碳素钢管（STK）<br>碳素钢锻件（SF）<br>碳素钢铸件（SC） | HRC 25 以下 | A60M | A54M | A46M | A46L | A60M |
| | | | HRC 25 以上 | WA60L | WA54L | WA46L | WA46K | WA60L |
| | 合金钢 | 镍铬钢（SNC）<br>镍铬钼钢（SNCM）<br>铬钢（SCr）<br>铬钼钢（SCM）<br>铝铬钼钢（SACM）<br>高碳铬轴承钢（SUJ）<br>结构用合金（SCA）<br>钢铸件（SK） | HRC 55 以下 | WA60L | WA54L | WA46L | WA46L | WA60L |
| | | | HRC 55 以上 | WA60K | WA54K | WA46K | WA46J | WA60$^{K}_{L}$ |
| | 工具钢 | 高速钢（SKH）<br>合金工具钢（SKS，SKD，SKT） | HRC 60 以下 | WA60K | WA54K | WA46K | WA46J | WA60$^{K}_{L}$ |
| | | | HRC 60 以上 | WA60J | WA54J | WA46J | WA46I | WA60K |
| | 不锈钢 | 不锈钢（1~4　SUS　1~4）<br>耐热钢（1~3　SEH　1~3） | | WA60K | WA54K | WA46K | WA46J | WA60$^{K}_{L}$ |
| | | 不锈钢（5~16　SUS　5~16）<br>耐热钢（4~5　SEH　4~5） | | WA46L　WA36L | | | | WA54L |
| 铸铁 | 普通铸铁 | 灰铸铁（1~5　FC　1~5） | | C60J | C54K | C46K | C36K | C60L |
| | 特殊铸铁 | | | GC60I | GC54J | GC46J | GC36J | GC60K |
| | 冷硬铸铁 | | | GC60I | GC54J | GC46J | GC36J | — |
| | 可锻铸铁 | 黑心可锻铸铁（FCMB）<br>白心可锻铸铁（FCMW） | | A60M | A54M | A46M | A46L | A60M |
| 非铁金属 | 黄铜（Bs） | | | C46J，　C36J | | | | C46K |
| | 青铜（BC） | | | A54L，　A36L | | | | A60M |
| | 铝合金 A1，A2，A3 | | | C46J，　C36J | | | | C46K |
| | 硬质合金 S，G，D | | | GC80I，　GC60I<br>D100 | | | | — |
| | 永久磁铁用材料（铸造磁铁）MC | | | WA46$^{J}_{K}$ | | | | WA60K |

① 本表中金属牌号均为 JIS（日本工业标准），与中国金属牌号对照情况可参考本套丛书中的《金属材料常识》分

# 砂轮的选择原则

JIS B 4051

| 平面磨削 | | | | | 内圆研磨 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 横　轴 | | | 立　轴 | | | | | | |
| | | | 普　通 | 部　分 | | | | | |
| 205 以下 | 205 至 355 | 355 至 510 | — | — | 16 以下 | 16 至 32 | 32 至 50 | 50 至 75 | 75 至 125 |
| 小←→大 | | | — | — | 小←→大 | | | | |
| $^{WA}_{A}$46K | $^{WA}_{A}$46J | $^{WA}_{A}$36J | $^{WA}_{A}$30J | $^{WA}_{A}$24K | A80M | A60L | A54K | A46K | A46J |
| WA46J | WA46I | WA36I | WA36I | WA30J | WA80$^{L}_{M}$ | WA60$^{K}_{L}$ | WA54$^{J}_{K}$ | WA46$^{J}_{K}$ | WA46$^{I}_{J}$ |
| WA46J | WA46I | WA36I | WA30I | WA24J | WA80$^{L}_{M}$ | WA60$^{K}_{L}$ | WA54$^{J}_{K}$ | WA46$^{J}_{K}$ | WA46$^{I}_{J}$ |
| WA46I | WA46H | WA36H | WA36H | WA30I | WA80L | WA60K | WA54J | WA46J | WA46I |
| WA46I | WA46H | WA36H | WA36H | WA30I | WA80L | WA60K | WA54J | WA46J | WA46I |
| WA46H | WA46G | WA36G | WA36G | WA30H | WA80K | WA60J | WA54I | WA46I | WA46H |
| WA46I | WA46H | WA36H | WA36H | WA30I | WA80L | WA60K | WA54J | WA46J | WA46I |
| WA36J | WA30J | WA30I | WA30I | WA24I | C54K　C36K | | | | |
| C46J | C46I | C36I | C36I | C24J | C80K | C60J | C54I | C46I | C36I |
| GC46I | GC46H | GC36H | GC36H | GC24I | GC80J | GC60I | GC54H | GC46H | GC36H |
| | — | | — | — | — | | | | |
| $^{WA}_{A}$46K | $^{WA}_{A}$46J | $^{WA}_{A}$36J | $^{WA}_{A}$36J | $^{WA}_{A}$24K | $^{WA}_{A}$80M | $^{WA}_{A}$60L | $^{WA}_{A}$54K | $^{WA}_{A}$46K | $^{WA}_{A}$46J |
| C30J | C30I | C30H | C30H | C24I | C36I | | | | |
| A46K | A46J | A36J | A36J | A24J | A60L　A46K | | | | |
| C30J | C30I | C30H | C30H | C24I | | | | | |
| GC60~100H D100~220I | | — | GC60G | — | D 150 | | | | |
| WA46J | WA46I | WA36I | WA36H | — | | | | | |

册。——译者注

# 工件材料

在磨削加工中，很多情况下都需要对钢材进行热处理。虽然统称为钢材，但是种类繁多，根据热处理的状态不同，磨削条件甚至故障的原因都会发生很大的变化。

对砂轮来说，最难处理的是由最常见的铝、铜、不锈钢等造成的磨具气孔堵塞。如果使用堵塞的磨具，就等于用没有切削刃的刀切削工件，不仅加工精度低，而且如果加工钢材就会马上会发热，导致磨削烧伤、磨削裂纹。

磨削烧伤、磨削裂纹最大的问题就是磨削时磨削区形成的高温。一般来说，像不锈钢，含有铬、钒、钨等的合金钢、高速钢等热导率很小的材料很容易发生磨削烧伤、磨削裂纹。

即使是普通的碳素钢、淬火钢也比退火钢更容易造成磨削烧伤。所以选择背吃刀量时，只需选用极限背吃刀量的一半的深度。此外，碳元素含量越多的材料越容易造成磨削烧伤，这主要是由工件材料的密度、热导率以及与比热容的关系决定的。另一方面，像铸铁一样的碳元素含量多的材料，其碳素是以石墨状态存在的，很难引起磨削烧伤。

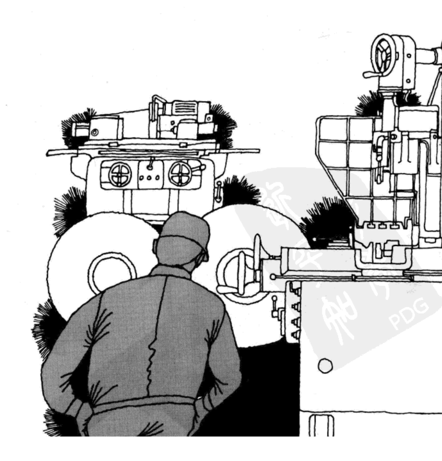
磨削容易造成磨削烧伤、磨削裂纹等材料时，要使用软质的砂轮，其实验的结果如下：

① 工件的圆周速度、背吃刀量大，而砂轮的圆周速度小时，使用比较细的砂轮。
② 砂轮的圆周速度、工件的圆周速度、背吃刀量大的时候，使用较软的砂轮。
③ 工件材料较软及砂轮小时，使用硬度较高的砂轮。
④ 需要加工表面粗糙度小的工件时，要使用细而软的砂轮。

根据以上实验的结果，可知工件同砂轮之间的关系。

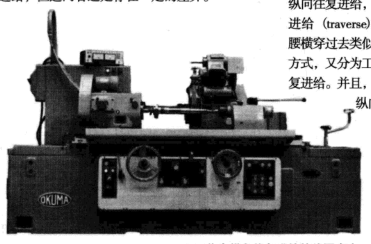
在磨床中，除内圆磨削外，一般很难更换砂轮。因此，即使工件与砂轮安装得有些不协调，操作稍有些困难，效率较低都不容易调整。这个时候，反向地利用这种关系，也会起到一定作用。

# 磨削加工



# 外圆磨削方式

磨床外圆磨削和用车床进行的外圆切削的原理相同，都是工件旋转进行加工。但是不同的就是，用车床的车刀来切削，还是用砂轮来进行磨削。虽然是用砂轮来取代了车刀在纵向进给，但这两者还是存在一定的差异。



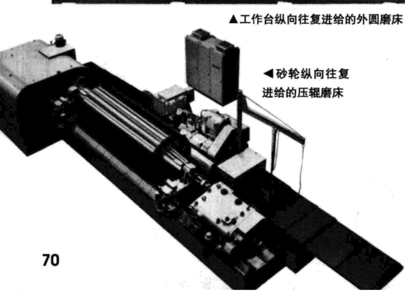

▲工作台纵向往复进给的外圆磨床

用外圆磨床加工时最常用的磨削方法，与车床加工中刀具进给相反（即装夹着工件的工作台进给）。这是因为长工作台进给既轻便，又能保证其精度。

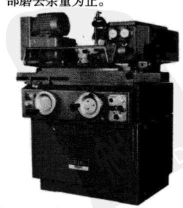
因为大型外圆磨床的工作台又大又笨重，所以最好使砂轮进给，这和车床加工的原理相同。

当工件比砂轮宽时，工件相对砂轮向左右纵向往复进给，称之为纵向往复进给。纵向往复进给（traverse）有横穿之意，与登山时从半山腰横穿过去类似。根据工件纵向往复进给的不同方式，又分为工作台纵向往复进给和砂轮纵向往复进给。并且，通过这种方法进行的加工，称为纵向磨削法（简称纵向法）。

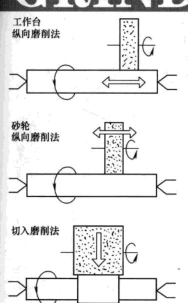
除纵向法外，有一种磨削方法称为切入磨削法。切入磨削中的切入（plunge）有插进的意思。切入磨削时工件无纵向往复进给运动，而砂轮以很慢的速度作横向进给，直到全部磨去余量为止。



◀砂轮纵向往复进给的压辊磨床



▲小型工作台纵向往复进给方式




▲外圆磨削方式

根据磨床的结构原理不同，在纵向法中，不能自由选择工作台纵向或砂轮纵向。对于切入磨削法，有的批量生产的使用切入法磨削的专门设备，也会使用纵向磨削法，根据工件来选用切入磨削法的方式。

从加工效率来看，用宽（厚）砂轮一次磨削出外圆的切入磨削自然加工效率高。但是也会受到工件形状的限制。

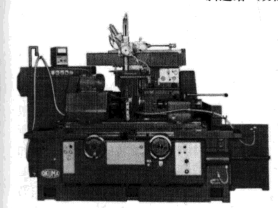
磨削细长轴，特别是对圆度和尺寸精度要求高或者要求加工出的表面粗糙度小时，仅适于用纵向法进行磨削。自然要减少砂轮的宽（厚）度。

另外，进行外圆磨削时，为了能同时加工端面和外圆面，可使砂轮端面倾斜某一个角度，并向其角度方向倾斜进给（切削）。根据外圆的径向和轴向的尺寸来确定砂轮的背吃刀量。用这种方式进行的磨削称为端面（斜置滑板）外圆磨削。当然这也是属于切入磨削法（见第86页）。

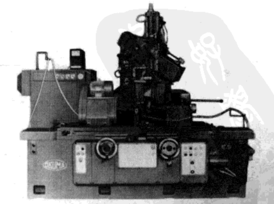
▼使用多砂轮的切入磨削法



另外，还有一种称为多砂轮切入磨削法的特殊加工方式。这种磨削方式适合于同时加工许多加工面窄的工件，工件加工面数量等于砂轮数量。它适合于曲轴等加工。



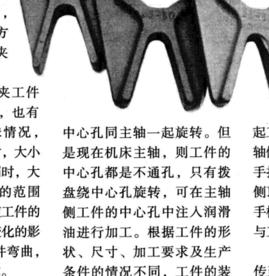
▲使用切入磨削法的外圆磨床



▲端面（斜置滑板）外圆磨床

# 外圆磨削时工件的装夹

▼不同规格的磨床用的鸡心卡头（曲尾鸡心卡心），右边是车床用的（直尾鸡心卡头）

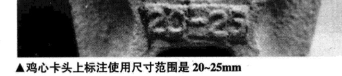


外圆磨削时，除了特殊的情况外，大多采用两顶尖装夹。因为无论是从确保加工精度，还是从装夹、拆卸的方便性来看，两顶尖装夹都很合适。

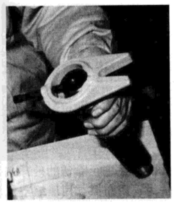
磨削时两顶尖装夹工件既有与车床相同之处，也有不同之处。除了特殊情况，鸡心卡头在车床上用时，大小能兼用。但是在磨床用时，大致要求其质量在平衡的范围内。装入固定螺栓可使工件的旋转不受顶尖磨削力变化的影响。而且为了防止工件弯曲，可采用垂直的装夹方式。

加工时，要在中心孔（顶尖孔）内注入润滑油。使用旧式机床，主轴侧工件的中心孔同主轴一起旋转。但是现在机床主轴，则工件的中心孔都是不通孔，只有拨盘绕中心孔旋转，可在主轴侧工件的中心孔中注入润滑油进行加工。根据工件的形状、尺寸、加工要求及生产条件的情况不同，工件的装夹方法也会发生变化。根据工件质量不同要用不同的方法装夹，但要尽量用双手拿起工件装夹，将中心孔对准主轴侧顶尖的中心，再改换用左手托住，一边把工件装入主轴侧顶尖，一边用右手转动尾座手柄，将其对准中心孔，使之与工件的中心孔重合。

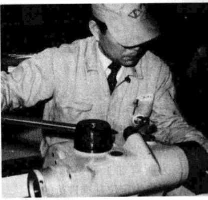
另外，为了主轴的旋转传到卡头，要调整螺钉与装夹长度（被切削材料直径）相符。用这种方法装夹时，有两种固定方法：一种是拉动旋转的方式；另一种是压入旋转的方式。但是，一般装夹时大多都采用如照片所示拉动旋转的固定方法。如果工件大，也可从上面吊起再放下，使中心孔与顶尖高度一致，进行装夹。

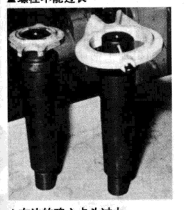


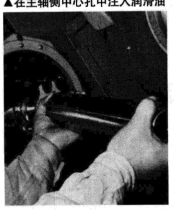

▲鸡心卡头上标注使用尺寸范围是 20~25mm

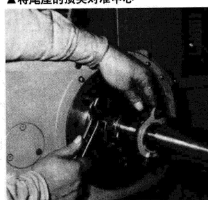

▲螺栓不能过长

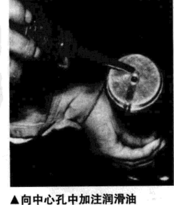

▲在主轴侧中心孔中注入润滑油

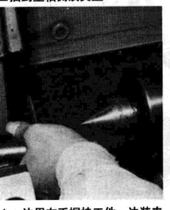

▲将尾座的顶尖对准中心

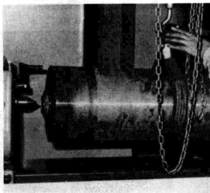

▲右边的鸡心卡头过大


▲插到主轴侧顶尖上


▲使螺钉与鸡心卡头的装夹长度相符


▲向中心孔中加注润滑油


▲一边用左手握持工件一边装夹


▲过大的工件需要吊装

# 中心孔与顶尖

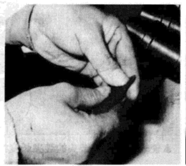
靠中心孔与顶尖的精度进行外圆磨削加工时，中心孔和顶尖部分的圆柱度、圆度等必须精度很高、表面光滑、无缺陷。绝对不能使用中心孔不光滑、有缺陷的工件。因为所有加工都是靠中心孔与顶尖为定位基准进行的。

中心孔和顶尖部分精度的高低将直接影响着加工质量。如在前面的工序中，从顶尖卸下工件时，碰到顶尖部分会导致工件出现划痕；及在加工过程中，由于磕碰造成缺陷；或者在磨削加工间隙，由于中心孔处溅上水而生锈造成的缺陷。针对以上情况，在进行磨削前，一般要对用车床加工后的工件进行热处理（主要是淬火）。但热处理也会导致工件的表面氧化形成氧化膜（也可称为水锈、黑皮，化学上称之为 $Fe_2O_3$）。

除掉黑皮的方法是，用手把砂纸折成大约 60° 角，然后放入中心孔里，靠手旋转摩擦磨掉黑皮。对未进行过热处理的工件或不带中心孔的工件进行除锈的处理方法为：用布擦。用压缩空气管的除尘方法为：用风动喷雾器把脏物等吹掉。

精密加工时，要用专用磨削机加工两中心孔，直至加工出精加工面。

## 保证顶尖光滑



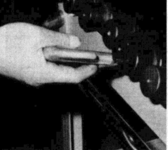
▲将砂纸折成约 60°角



▲用布包住尖锐的铁片

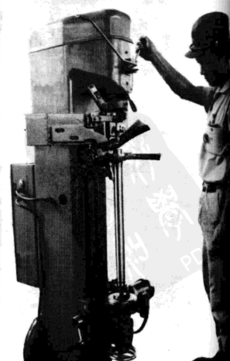


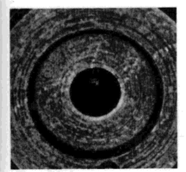
▲用布



▲用空气

▼中心孔磨削机





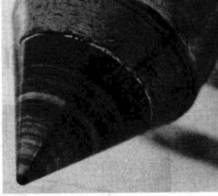
▲利用小凹台保护中心孔

另外，顶尖部分也和中心孔一样重要。

为了保护新产品的顶尖部分不受损，要用密封薄膜把顶尖部分包起来进行保护。

因此，即使在使用中密封薄膜破损，只要薄膜还未脱落，就能起到保护顶尖锐角作用。

顶尖的锐角部分，现在都使用硬质钢材制作，尽管如此，由于长时间使用或者不精心维护的话，也会发生损坏。特别是，中心孔里的黑皮、铁锈、脏物等对中心孔来说，都是大忌。



▲满是瑕疵

## 这样的中心孔不行

◀粘有灰尘

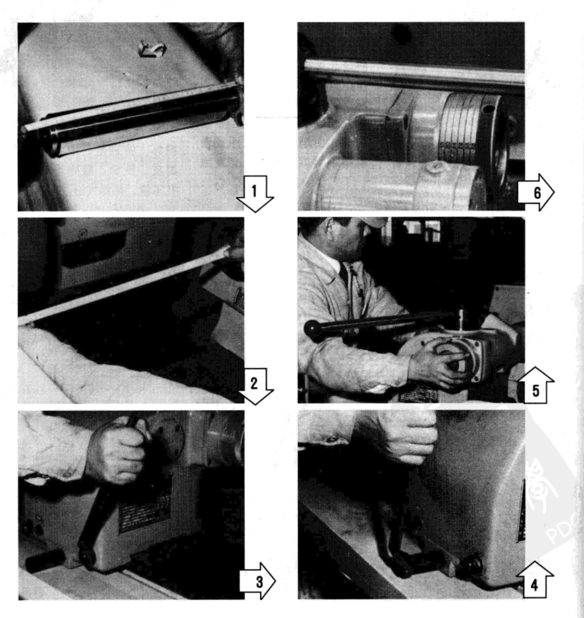
布满瑕疵▶

▲这种划痕会损坏顶尖

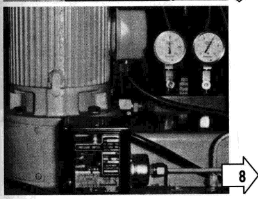
◀这个满是锈蚀

顶部的油槽浅▶

# 外圆磨削的步骤







安装砂轮要根据第 28 页的安装方法进行。本页是装夹工件的顺序。

① 根据工件的长度，就确定了头架同尾座之间的距离。工件的长度既可以从图上观察，也可以用实物测量。

② 知道工件尺寸后，再来确定两中心孔之间的距离。移动量大时头架也会移动，但一般还是轻微地移动尾座。

尽量要把头架和尾座调整到工作台中心部位。

因为要强制使头架、尾座和工作台一起移动。

③首先要松开锁紧拨杆，然后移动到所需位置。

④ 因为照片中的机床是用齿轮带动的，所以比起用人力推很重的头架滑动的效果好，又能进行精密地调整。

确定好位置后，在用力将锁紧螺钉固定。

尾座也使用同样的操作方法。与车床不同的只是磨床的顶尖部是一直靠弹簧控制的。

要适当地调整弹簧的压力，并且利用弹簧的收缩力来确定位置。

⑤ 但是，新型机床可以通过尾座的后侧调整这个弹簧的压力。

⑥ 现在弹簧的压力已经能用数字及刻度来显示。控制顶尖部的弹簧，物体重时要加大压力，软材料或小物体时则无需加大压力。如果加大压力过大，会导致中心孔损伤或加快机床顶尖部位的磨损。

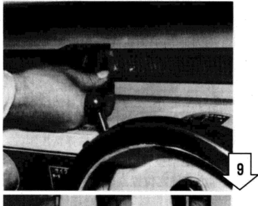
工件的装夹方法请参考第 72 页。

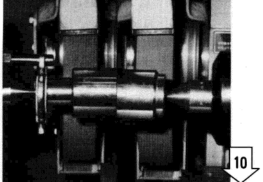
工件装夹完毕后，⑦接通起动的开关。

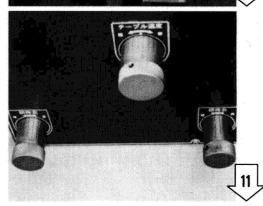
因为现在的磨床，都是液压驱动，所以首先要使液压泵用发动机旋转。对于磨床的砂轮轴承，每个厂家都有各自特定的安装方法，但是一般都采用强制供给润滑油进行安装的方法，原因是液压油达不到一定油压时，砂轮不会旋转。

⑧ 当驱动、润滑用的油压达到所需的数值后，接通砂轮旋转的开关，之后参考第 32 页的安全规程，加工调整一段时间内离开砂轮正面。

# 外圆磨削的步骤




起动砂轮，使其试转确定没有异常后，再确定工作台的移动距离。通过判断确定夹具的大体位置。

⑨ 位置确定后，把工作台的进给速度调至低速后，边注意工件与砂轮的间距，边仔细地调整好。

⑩ 磨削时，砂轮与工件不要靠得太紧，砂轮的一端要稍微伸出一些，否则会导致工件的端部精密度下降。

虽然砂轮的一端要稍微伸出一些，但是如果砂轮过于伸出，砂轮的磨削力会变小，切入的压力会集向窄小的部分，切入深度会变大，尺寸会变小。故一般调成砂轮宽度的1/3 到 1/4。

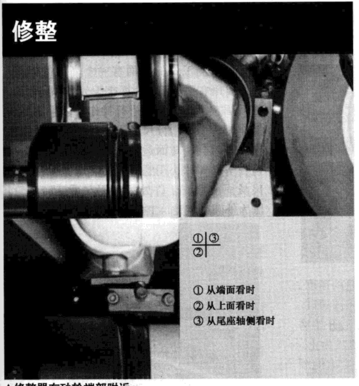
另外，由于工作台的进给速度与工件的直径以及转速之间的关系，在工件还没有旋转一周时，就开始进给了。由此使得工件的两端部分就不可能成为圆形，尺寸也会变得不准确。

为了防止这种情况发生，有必要设定在两端部分完全旋转一周后再使工作台进给。

⑪ 调整时间的设定。照片的中央部分是调整工作台的速度钮，下面左右两侧是调整各端停留时间的钮。

如果机床两端未设有停留时间钮，就用手动操作。

# 修整

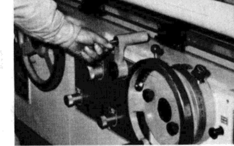



▲修整器在砂轮端部附近

当装夹好工件、确定好工作台移动的距离后，就要用砂轮修整器修理砂轮。首先要把修整器从工作台的往复行程内卸下，安装在心轴及顶尖部的下侧，这样会减少加工时的磨损。

一般每台机床都附带着一个修整器。如果将修整器直接装上，一般就是正确的状态。在此所说的正确的状态，如照片所示，金刚石自由端对着砂轮的旋转方向。由此可以避免砂轮碰到修整器上而产生的危险。

要把修整器调整到靠近砂轮处或者在砂轮宽度范围内的某一端的位置上。因为在离开砂轮一段距离位置处接近砂轮时，无法看清修整器是否接触到砂轮。另外，之所以将修整器接近砂轮的端部，是因为所有进给都是要从端部开始。既然修整器接触到砂轮，就要把修整器调整到砂轮外侧对整个砂轮进行修整，根据修整需要反复多次进行磨削及使工作台进给。



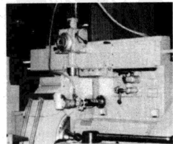
▲工作台往复用拉钮

为了进行修整，要一直拉住工作台往操纵杆上的拉钮使工作台往复运动，当修整器靠近砂轮的位置时再进行修整。修整时用手动操作工作台的反转操纵杆。

现在也有的机床，无须把修整器安装在上部，逐一地把工作台调整到修整器的所在位置，而是在磨削时原位置上能够进行修整。

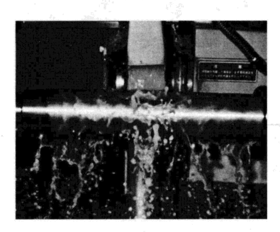
修整器的进给靠液压控制。

根据修整器的刻度可以知道背吃刀量，接下来的加工只要修正背吃刀量就可以了，非常适合批量生产。



▲将修整器放在砂轮上面

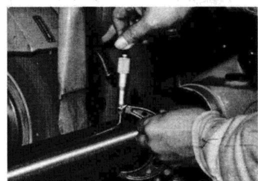
# 外圆磨削的基本方法



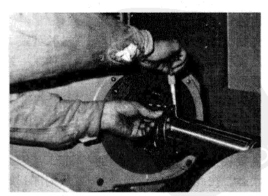
终于开始磨削了。首先确定砂轮的速度，然后再根据砂轮速度来确定工件的圆周速度、进给速度及在两端停留的时间，之后开始磨削工件。要边进给边磨削直至去掉黑皮为止。

但是用以上的磨削方法，不一定就能顺利地进行外圆磨削。最令人担心的是能否正确磨削出外圆度。进行外圆磨削的基本方法是：磨削出一个面后，退出砂轮，使工件停止旋转。最近也有新型机床，若停止工作台进给，砂轮就会急速后退，工件也就停止旋转。然后，可测量工件的两端。这一点与用车床切削外圆的方法相同。在此应该注意的是，对于一开始就从事磨削工作的磨工来说，大都掌握了用千分尺测量工件两端的技术，测量上不会有问题。但是有的问题会出在从车工改行到磨工的这些人身上。因为车工是加工的基础。所以很多人都是从车工改行到磨工的，因此便产生了以上所说的用千分尺测量工件两端的问题。

车床上工件的前面有一个高高的刀架。因此要用右手从工件对面把千分尺拿到面前，然后用左手旋转卡盘进行操作。如果用磨床操作时，手拿千分尺的方向正相反。若误操作，有时会使对面运转的砂轮误伤右手——请看下面照片，用磨床加工时用左手把千分尺从面前拿到工件处后，用右手旋转爪轮。因为外圆磨床上，工件前面什么都没有。



▲测量尾座侧



▲也测量头架侧

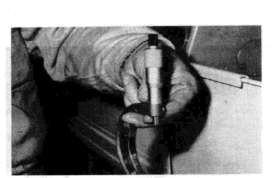
磨床加工属精密加工范围。为了避免手的温度对千分尺温度的影响，左手拿千分尺时，不要像照片中那样，要用手指拿。同时，还要大量使用磨削液。

在测量精度为 0.001mm 时，为了避免体温的影响，要在尺架上缠上厚厚的隔热纸。

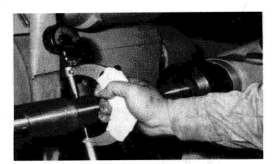
当测量出的两端尺寸不一致时要用回转工作台来修整，两端尺寸一致后再进行磨削。但是，修整量根据工作台旋转中心到工作台两端的距离的不同而有所不同。所以磨工必须了解所使用的磨床自身的尺寸。

当达到外圆尺寸标准后，还要考虑其磨削材料、工件直径、长度及砂轮的磨损来确定每次纵向磨削时的背吃刀量。

虽然可以用手动操作背吃刀量。但那只是修整时的最后一道工序。工件尺寸大致上靠砂轮自动修整。但是由于所要求的精度不同，会有差别。当工件的尺寸或外圆度的精度上还留有 0.001mm 的误差时，即可以用手动操作或用机床操作磨去误差。也可以靠调整顶尖来修正误差，操作时不能随意改动操纵杆，用手稍微压一下粗端的顶尖，清磨几次来修正误差。这项操作全凭磨工的熟练程度及经验进行，没有标准规定该怎么操作。



**▲千分尺放在手指上的拿法**

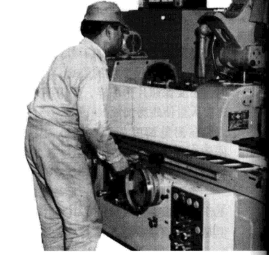


**▲测量精度为 0.001mm 时，尺架要用厚厚的隔热纸缠上**



**▲两端出现尺寸误差时，利用工作台修整**

# 圆锥面的磨削

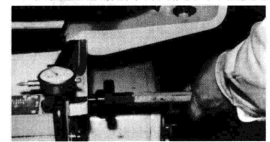


▲如果加工大圆锥面需要这样的回转工作台

磨削圆锥度不大的外圆锥面可用装有顶尖的工作台往复移动的方法来进行，其他的磨削方法与外圆磨削相同。问题就在于如何正确确定所需圆锥度。

所需圆锥度要根据工件的角度及工作台的回转中心到工作台两端距离来调整，之后用工作台两端的刻度读出度数值。但是，这只是理论上的说明。而实际上，圆锥度是用锥度尺测量出来的，之所以这么说是因为在其圆锥度还没有成形之前，是无法用数字表示出其修正值的。这时完全要凭借个人的感觉。正是这一点，它与通过圆度来修正是不同的。

要检查正在磨削中的圆锥度时不能使用红漆。一定要使用精度非常高、颗粒比较细小的青油。涂漆的操作也要求特别精细，要把圆周上的相对面的2面都要均匀地涂上。



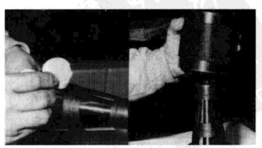
▲工作台回转操作是在手柄头处插入操纵杆快速转动



▲微调是靠用手转动手柄观察旋转量

回转工作台也有一定的限制。因为如果回转幅度过大，会导致磨削部分不稳，从工作台弹出，且工作台也会影响砂轮架。如果需要磨削大角度时，可以转动砂轮架来弥补磨削不足的地方。但是，转动砂轮架时，用操纵杆控制的背吃刀量并不是砂轮的背吃刀量。所以有必要按照所需角度来修整砂轮。

如果装夹在头架卡盘上的工件长度较短，可以转动主轴箱进行磨削。



▲用纸薄薄涂上青油后装夹在测量仪表上

# 断续磨削

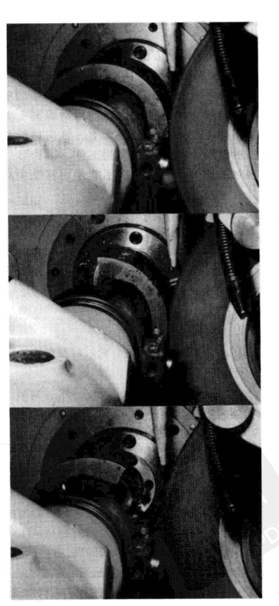
虽然称为断续磨削，但并不是什么特别的磨削方法，也是外圆磨削的一种。铰刀、钻头、立铰刀等刀具的外圆磨削都属于断续磨削。虽说刀具类的外圆磨削属于断续磨削，只是因为它们都有好多个切削刃构成螺旋齿状。这一点与铰刀、钻头、立铰刀等刀具的外圆研磨相同。

但是需要注意的是，针对有一部分凹进去的凸轮的外圆或者如照片所示外圆周面缺损部分的外圆研磨方法。

最初开始使工件与砂轮接触时，要马上快速旋转操纵背吃刀量的操纵杆。当砂轮快要接近碰到外圆周面缺损部分时，稍稍转动一下工件。

即停止工件转动，并将外圆周面无缺损部分转向砂轮，让砂轮切入。确认砂轮接触到工件之后，记录下刻度。再退出砂轮，旋转工件使其慢慢地接近刚才记录下的刻度。如果不退出砂轮就旋转工件，万一工件出现偏差，会使切入深度太大。

这样大的断续研磨中最大的问题是工件在“断”的部分的退刀和进刀。因为工件的磨削力时而突然消失、时而激增，所以必须紧固好。以免由于夹具与螺钉之间晃动，导致工件晃动，影响两端部分加工精度。



断续磨削时，注意退刀和进刀▶

# 细长工件的磨削

用外圆磨削方法加工细长工件时比用车床加工更麻烦。

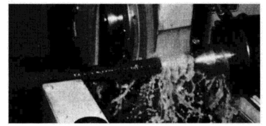
在车床上加工工件时，总是用移动中心架（跟刀架）控制车刀前后沿着同一方向切削工件。但是在磨床上，纵向进给是以沿着两个方向反复磨削工件。因为砂轮相对工件多出一块所以不能使用移动中心架的方法。

只能使用固定中心架控制的设备，但这个固定中心架也不是用得越多越好。因为每次纵磨时，工件的尺寸都会改变，固定中心架也必须作相应的调整，否则就不起作用了。同样，在每次纵磨时砂轮通过之后，必须调整中心架的支承。

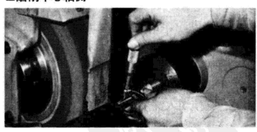
下面举一个特殊的例子。黑皮工件经过车床加工、热处理加工后就不再有黑皮，而是钢铁厂热轧的仍为黑皮材料。

首先，磨削去掉两端黑皮，然后调整工作台使两端尺寸相等。这和外圆磨削的原理基本相同。当然，要在中间等间隔处准备好中心架，此时中心架还没有起作用。

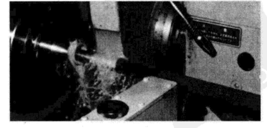
接下来要对第一个中心架的位置进行磨削，因为中心架还没有起作用，所以应小心地进行磨削。当两端尺寸一致时，中心架的支承与工件接触。这时最大的问题是从工件的下面或是背面接触支承的问题。这一问题是很难用文字描述，只有靠经验积累。第二、第三的中心架部位都用相同的方法进行加工。这样一来整个粗磨阶段的中心架就都起作用了。接下来同外圆磨削一样，纵向磨削切入（但是要相当仔细地）使全长尺寸一致。



▲磨削中心轴侧



▲读取尺寸



▲主轴侧也磨削成相同的尺寸

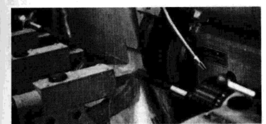
这样，总算把细长工件磨削前的准备工作做好了。但是事实上，如果没有高超的技术，很难一次就能使全长尺寸加工准确。因为中心架支承的接触情况（硬度、支承的磨损），工件自身内部变形及由磨削力造成的新的变形等原因，几乎不可能一次就把尺寸全部加工正确。

因此，可通过中心架调整使纵向磨削的背吃刀量达到所要求尺寸。

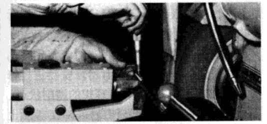
但是，技术熟练的工人，至少也得用一个中心架，然后把木锤手柄头切成V字形后，一边跟随砂轮进行纵向磨削，一边支撑着完成加工。

当然，要考虑到工件长度、粗细、背吃刀量、进给量及砂轮的磨削能力，凭感觉修正压力的大小。如果是熟练工人，这样修整能节省时间。

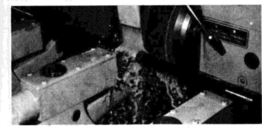
磨削细长工件的过程中，另一个重要问题就是顶尖的顶紧力。如果顶尖的顶紧力过大，工件会因此而弯曲。所以为了使中心架的支承适合工件外圆周，要尽量使用硬度低的材料。即适度地减小压力，以此来达到全面均匀地接触工件、接触面光滑。



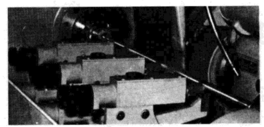
▲磨削第1个中心架部位



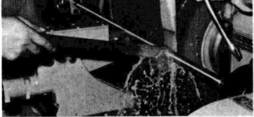
▲将两端调整至同一尺寸



▲把第2、第3个中心架部位磨削成同样的尺寸



▲然后磨削全长使尺寸一致

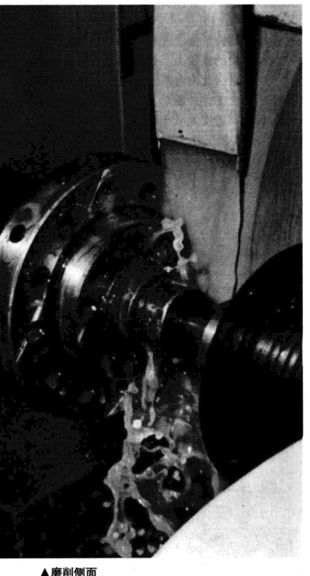


▲熟练工一边随着砂轮纵向磨削，一边支撑至完成加工



▲使中心架支承与工件外圆贴合

# 侧面的磨削



▲磨削侧面

磨削轴，轴承、台阶类等外圆周面同心的工件时，常用到侧面磨削的方法。

侧面磨削方法有两种。

一般方法就是用砂轮端面进行磨削。由于砂轮端面的磨削力较小，人们常说：砂轮的端面不能用于磨削。虽说使用砂轮端面，也只是用砂轮最外侧圆周，不使用砂轮整个侧面。之所以这样是因为若将砂轮平面接触工件，会导致磨削力加大，砂轮端面为直线状态（平面），很难保证加工精度。砂轮内面未修整成磨削状态时，使用金刚钻笔修整器修整砂轮外圆周。

最简单的方法就是用手持金刚钻笔的方法进行，放到砂轮端面。修整时需要注意，修整旋转的砂轮是非常危险的，不要任意调整角度，以免误伤手指。而且只是手动进行修整也未必一定能把砂轮的外周修整正确。

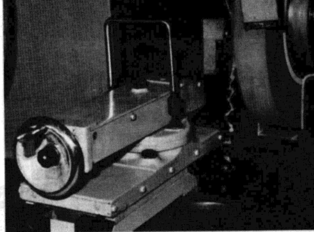
根据不同的机床，也有端面修整用手动进给的修整器。如果是用上述修整器进行修整，砂轮端面可以达到目测理想的磨削状态。

使用砂轮端面磨削时，磨粒对工件从上至下进行全方位磨削。当工件端面为双圆弧网纹时，砂轮处于正确的位置。

▶装在砂轮侧面的修整器可以自由设定角度

▼手持金刚钻笔修整砂轮侧面





只是纵向加工时，很难得到正确的背吃刀量（工作台进给），也很难把握纵向尺寸。之所以这么说，是因为用窄面砂轮旋转面磨削幅度宽的工件时，损耗大。

根据工件不同，要求磨削的侧面和外圆周面相向且同心时，可以使用角度滑动的方法。

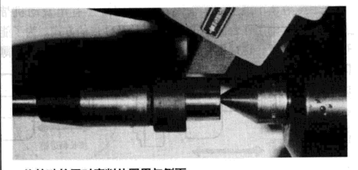
这种方法就是，把砂轮转动一角度，一般转动 30°，再用以上方法把砂轮的外圆周修整成直角，使砂轮在此角度处磨削。

用这种磨削的方法能使外圆周与侧面同时磨削。用这种磨削方法时，因为砂轮外圆周接触到工作的侧面为线性接触面。所以加工出的侧面与外圆周面同心。

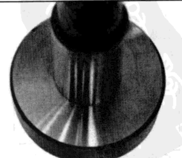


▶侧面呈现网状

以上方法不能在外圆周面和侧面的背吃刀量相同比例下使用。一般情况下，外圆周与侧面的直径比例为 2∶1，但是这个比例也根据角度不同而不同。当角度为 30° 时，直径比例为 3∶1。

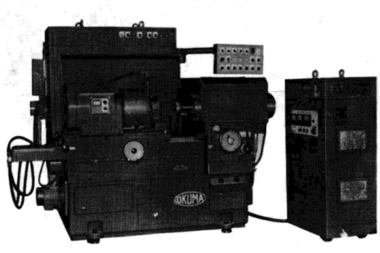


▲旋转砂轮同时磨削外圆周与侧面



▲侧面的磨削面与外圆周同心

# 内圆磨削方式




内圆磨削通常是在内圆磨床或万能外圆磨床上进行。但是根据要磨削的孔不同，其磨削方式也不同。

虽然磨削内圆时，砂轮都在旋转，但是磨孔的方式基本上可分为工件旋转方式和行星磨削方式两种。这好像地球自转一周为一天，绕太阳公转一周为一年。

这种磨削方式称为行星式内圆磨削。行星，planet=星球，将其英文单词变为形容词为 plantary。

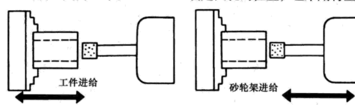
因为行星式内圆磨削适合于质量大、难以平衡和旋转的工件，液压缸体大多采用这种磨削方法。在磨削液压缸体等时，为了用移动工作台的方式确定圆孔的位置，也采用行星式内圆磨削。一般使用最多的就是使工件旋转的磨削方式。

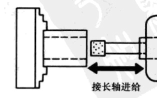
可以说一提到用内圆磨床进行磨削，马上就想到采用使工件旋转的磨削方式。这一点与外圆磨床相同。

虽然都是砂轮进给，但是也分为整个砂轮架进给及砂轮接长轴进给的方式。而砂轮接长轴进给的方式多用于小直径工件的加工上。

另外，如果用内圆磨床磨削，砂轮的大小会受到工件圆孔内径的制约；而砂轮轴的粗细及长度受砂轮直径的制约。所以细长的砂轮轴不能加工远大于砂轮直径的孔，另外旋转速度也必然受限。因此，应准备许多能更换的各种粗细及长度的砂轮接长轴。

常用的还有用发动机带动带轮及砂带的方式。为了能使砂带高速旋转，一般使用薄

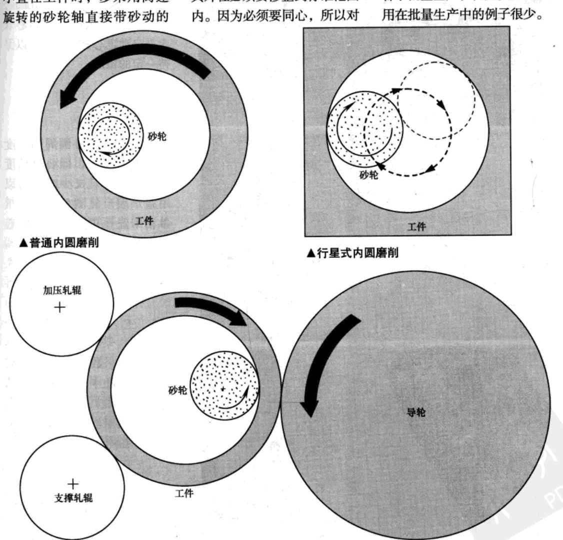



▲纵向进给分为工件进给和砂轮进给两种方式

而且宽的合成纤维编织成的砂带。在砂带高速旋转磨削小直径工件时，多采用高速旋转的砂轮轴直接带砂动的方法进行磨削。

另外也有无心磨削方式。其外径必须要修整到标准范围内。因为必须要同心，所以对工件有限制。工件拆装都可以用自动程序方便地进行，多适合于批量生产，但是实际真正用在批量生产中的例子很少。



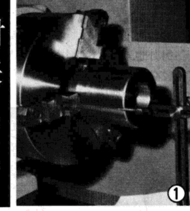

▲普通内圆磨削

▲行星式内圆磨削

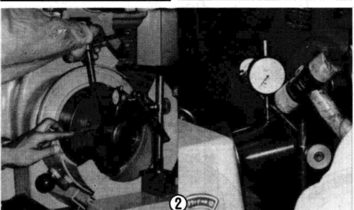
▲无心式内圆磨削

# 内圆磨削时工件的装夹

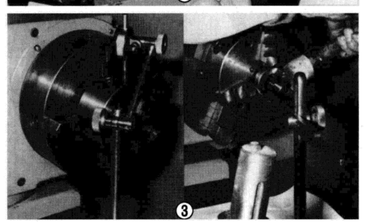
内圆磨削是孔的精加工方法之一。工件一般使用三爪自定心卡盘装夹，原理与车床相同。



① 如果外形是圆柱体，应用三爪自定心卡盘紧固。磨削较长的工件时，需要用顶尖固定轴心。但如果工件夹紧后的径向圆跳动量大于 10mm，便无法修整。因三爪自定心卡盘是自动定心夹具，故可以保持一定的精度。

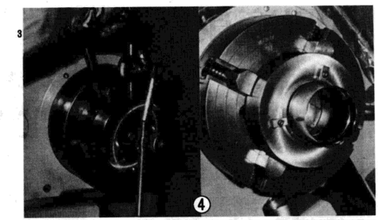


② 如果对外圆周同心度有特别的要求，即要求精度高而磨削余量又少时，可以用指示表反复测量调整四爪单动卡盘、顶尖，来确圆心的位置。

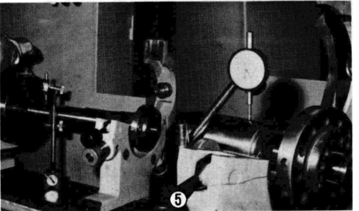


③ 如果数量少或工件小，在四爪单动卡盘上装上三爪自定心卡盘，首先用三爪自定心卡盘定心，然后再装夹工件，之后定心。

④ 薄壁工件的装夹很麻烦，首先要绝对避免由装夹引起的工件变形，薄壁工件的装夹仅限于轴向装夹或在外侧装夹。因此，数量多时，要考虑使用的专用夹具装夹。

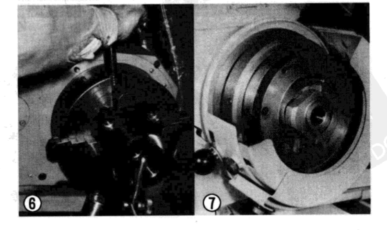


⑤ 要磨削中空的细长轴工件时，要用卡盘及中心架支承的中心为定心点。磨削轴心孔时，都是在轴心孔里放入夹具，用两顶尖固定外圆面磨削。一般都以外圆面为基准，在孔中放入夹具，再用心轴顶尖压板紧固，一端用卡盘作为定心基准，另一端再用中心架支承定心。尽管如此，还是要注意同尺寸部分的水平高度。

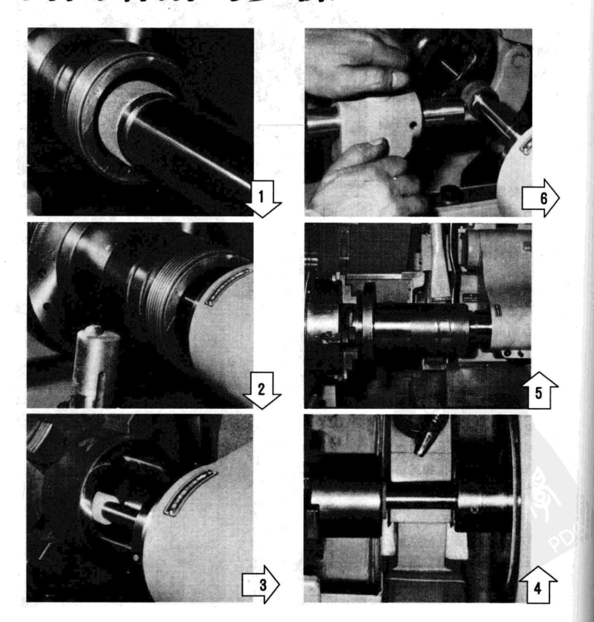


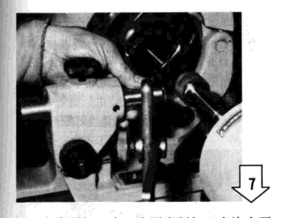
⑥ 外形不圆的工件要使用四爪单动卡盘装夹。即使外形不圆，只用圆孔和圆心部分在其外圆面和端面都能定心。

⑦ 对于量大而且特殊形状的工件，如果使用专用夹具装夹，短时间内就可以完成定心及装夹。



# 内圆磨削的步骤






在磨削加工中，内圆磨削加工有许多严格的条件限制。首先无论是实际测量，还是根据原理分析都很麻烦，工件孔直径越小，孔深度越深，磨削加工就越困难。

这是因为对于不同的磨床及磨削方式，砂轮轴越粗，磨床的刚性就越大。但是，在内圆磨削中，不能使用大于工件孔径的砂轮，也不能使用超出工件孔长度的砂轮。但是外圆磨削时，与工件大小无关，可使用相同大小的砂轮。但是内圆磨削因受工件孔径的限制，必须按照工件孔径的大小选择砂轮及砂轮轴。

一般，最合适的砂轮直径是工件孔径的0.8倍左右（见图①），砂轮轴长度只需略大于孔的长度（见图②）。

道理很简单，如果砂轮径小，圆周速度就会下降，还会因砂轮的磨损等导致效率降低。如果砂轮轴的长度大于孔的长度，效率肯定会变低，并且会引起振动。而且，如果内圆磨削的用砂轮面积达不到标准，就不能保持平衡。若不平衡，在比外圆磨削还高的转速下，会由于离心力的作用而产生摆动，非常危险（见第30页）。

另外，如果使用图③所示的过小的砂轮，也会降低效率。

由此可见：第一，必须选择与孔径、孔深相适应的砂轮、夹具及砂轮轴（见图④）。由于生产砂轮轴制造商不同，砂轮形状各异。安装在砂轮轴顶部的夹具也有大小、长短不同的多种类型。但是选择砂轮轴时，要选择无论哪台磨床都能使用的、通用型的砂轮轴及夹具。

根据以上情况，首先要考虑安装一个最合适的砂轮。

图⑤是用夹具确定工作台的往复距离、位置，这和外圆磨削时安装砂轮的步骤相同。

接下来是修整砂轮。关键是修整器的位置。为了避免磨削中的问题，请按以下步骤进行加工。

使砂轮保持停转状态，再把安装在工作台上的修整器加到砂轮上，靠近工件的加工部位，然后将工作台移动至砂轮所处位置，在这个位置上固定修整器（见图⑥）。

如果这样进行加工修整器一开始就与砂轮的磨削面接触，从而减少对切削控制杆的操作。

还有因为内圆磨削砂轮小（见图⑦），所以必须把修整器高度调到与砂轮轴心一致的位置。否则，因砂轮和修整器不协调，就不能正常工作。所以修整前要用划线盘将修整器金刚石调节到与砂轮轴心重合。之后的步骤和外圆磨削相同，选择背吃刀量和进给速度进行纵向磨削就可以了。

# 内圆磨削的检测

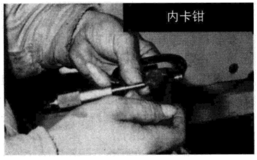
虽说是内圆磨削，但从广义上讲，也等同于外圆磨削类似，可以理解为外圆的内圆面。

因此，要进行磨削时，同外圆磨削一样有必要确认两端的尺寸，接下来的修整方法同外圆磨削时的修整方法相同。测量时，如果有内径千分尺，要使用内径千分尺测量。

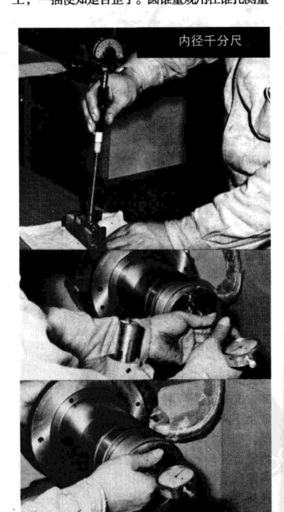
到目前为止，使用内径千分尺测量的地方不多，内径千分尺仍属于昂贵的测量器具。或许是因为这个原因，现在大多使用内卡钳。因为用内卡钳测量既省钱，操作又简单，且不容易出故障，所以被广泛应用。

因为内径千分尺属于具有对比性的测量器具，所以即使知道了尺寸的差值，也不知道绝对值。测量时必须使环规或塞规的 0 点重合。

经常使用的还有光滑极限量规和塞规。其使用方法是用手紧紧握住光滑极限规的手柄部位，使光滑极限量规对准中心，要伸入足够的深度。如照片所示，不能用力摇晃或敲击光滑极限量规，否则若光滑极限量规插歪，就无法测量出准确的尺寸。如果是熟练工，一插便知是否歪了。圆锥量规用在锥孔测量

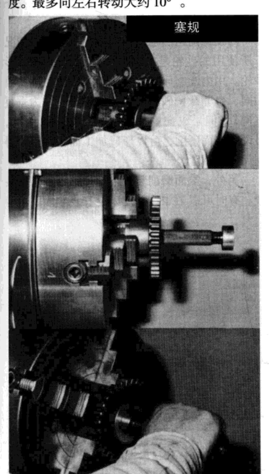



▲测量内径尺寸，用千分尺读取尺寸




▲使塞规 0 点重合，测量最前端和最后端

上。这种测量与调整工作台角度用的外圆磨削圆锥相同。只是把涂有青油的锥度量规相应插入圆孔中，从相对的两个方向上下移动。因为量规的重量都加到了下侧，只有下侧才能接触到圆孔壁，上侧接触不到圆孔壁。因为这个原因，所以锥度量规不能转动太大角度。最多向左右转动大约 10° 。

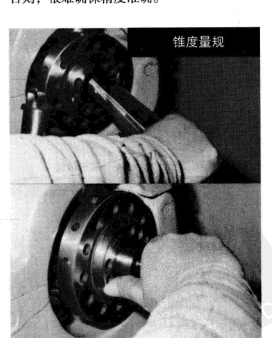


▲要牢牢握住塞规一直插到底，直到停止不动

磨削用夹具不能像车床那样固定得太紧，特别是内圆磨削装夹时绝对不能夹歪，一定要保持在塞规及锥度量规所规定的最小极限值内，插入不要太用力。在拔出时，拇指要顶在工件的端面上按着向外拔。

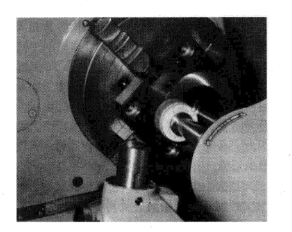
内圆磨床上，即使工作台停止了运动，砂轮也不会像外圆磨床那样快速后退，而是沿着轴的方向退出来。若在此时使用内径千分尺或拔出量规。右手有可能被砂轮碰伤，因此，必须养成在砂轮停止旋转后再进行测量的习惯。

其次还要做到，在砂轮停止旋转后，下一次磨削还没开始前，要对砂轮进行修整。否则，很难确保精度准确。

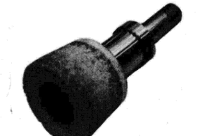


▲锥度量规涂上青油并插入，不许大幅度转动，拔出时要用拇指按着拔出

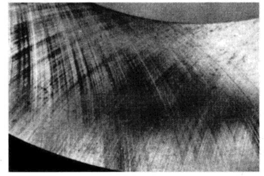
# 端面磨削



▲磨削出孔后再进行的端面磨削



▲11 号碗形砂轮

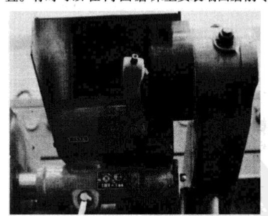


▲端面磨削产生的网纹状

立轴平面磨床均采用砂轮的端面进行磨削的形式。如果内外圆周在相同的装夹状态下磨削，内外圆周之间应该无偏差，就像内圆周和端面与外圆周和端面一样，这是因为机床零件往往要求轴心和端面相互垂直。

内圆磨削当然也用同样的方法。这种情况下所使用的砂轮是 7 号杯形砂轮和 11 号碗形砂轮。用内圆磨床磨削和用外圆磨床磨削侧面相同，也能微调砂轮的切削方向（纵向为垂直方向），但是纵向磨削很难微调定位。因此，虽说是端面磨削，可以形成加工面，但很难得到尺寸的精度。

另外，端面磨削装置包括修整器和切削装置。有时可以在内圆磨床上安装端面磨削专用设备。如果在内圆磨床上安装了专用端面磨削设备，就可以正确地进行修整及磨削等。



▲在端面磨削设备中，可看到修整器和切削装置

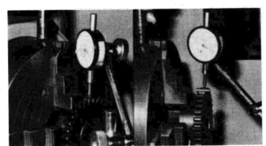
# 齿轮的装夹

磨削齿轮轴孔是非常常见的齿轮精加工磨削操作之一。加工齿轮工件时，装夹时要根据所需的条件，了解装夹及定心的常备知识。

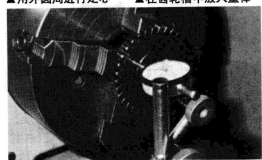
众所周知，检查中心跳动和砂轮端面跳动同定心的操作类似。中心跳动，即外圆周定心。如果之后要进行齿轮精加工，最好是用齿轮外圆周定心。尽管如此，由于齿轮不能像一般圆周那样连续，所以无论用划线盘规，还是用指示表定心，都是非常麻烦的。因为指示表等测头瞬间通过，只是指针啪啪地摆动。

如果齿轮磨削不出精加工面，可用分度圆定心，这是肉眼看不到的线。这种定心如照片所示，是在齿轮槽中放入合适的量棒，在其外侧定心。此种情况下的定心点只是某一点，这比用外圆周定心更麻烦。而且往斜齿轮里放入量棒很花费时间。所以人们常用专用的夹具来定心。

大概是因为齿轮加工量又大，定心又难的缘故吧，齿轮装夹多用专用夹具，如下面的照片所示。

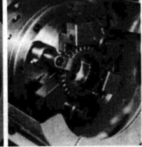


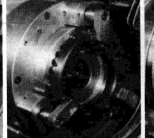
▲用外圆周进行定心　▲在齿轮槽中放入量棒

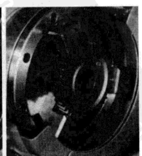


▲用端面定心









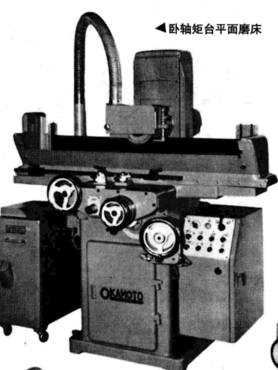
▲装夹齿轮的各种各样的专用夹具

# 平面磨削方式

平面磨床是磨削工件平面的机床。一般平面磨削方式分为两种形式：其一是按磨削中砂轮轴的方向和工作台的运动形式划分；其二是按砂轮的工作表面来进行划分。

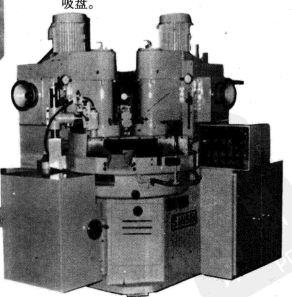
一般往复运动的工作台呈矩形，旋转运动的工作台呈圆形。有人称其为矩形工作台、圆形工作台。由此可知工件的运动方式。

另外砂轮轴有卧轴式（水平）和立轴式之分。砂轮轴是卧式时，工作台是圆形的电磁吸盘。用砂轮的圆周面磨削平面。砂轮轴是立式时呈杯形，用砂轮的端面磨削平面，工作台是矩形的电磁吸盘。



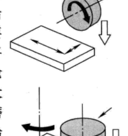
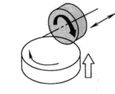

◀卧轴矩台平面磨床

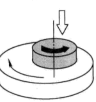
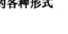
◀卧轴圆台平面磨床

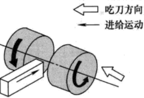


▲立轴圆台平面磨床

卧轴圆台平面磨削，其磨削面狭窄，所以无论是工件进给还是砂轮进给，进给量都必须要小于砂轮面的宽度。立轴矩台平面磨削时，最大可以磨削同砂轮直径相同的工件，因此可以大大提高加工效率。立轴矩台平面磨床为矩形工作台时，工作台进给一周才能完成磨削加工，而立轴圆台平面磨床，工作台旋转不到一周就可以完成磨削加工。



平面磨削的各种形式

立轴圆台平面磨床，也可安装 2~4 个砂轮轴。只需旋转一次圆形工作台，就可完成从粗磨到精磨一次成形，适合于批量加工方式。这种情况下，若连续进给工作，会导致砂粒自动脱落。

最具代表性的平面磨床，就是卧轴矩台平面磨床，工作台是矩形电磁吸盘，所以无论从技能鉴定的角度来说，还是从机床的实际使用的台数来说，此种形式最多。

背吃刀量是用一定时间内的垂直进给量表示。圆形工作台是在圆形工作台外缘和中心之间作直线往复运动，每往复一次或每次换向，砂轮向工件垂直进给。立轴式砂轮垂直安装在矩形工作台或圆形工作台上后切入。

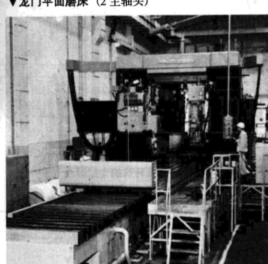
无论是矩台还是圆台，砂轮都是由上往下切入，装夹好后，砂轮轴的滑板移向轴方向。

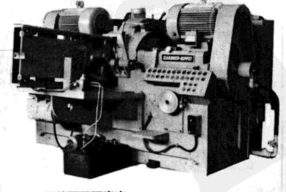
如果大型机器如同龙门刨床做成门形。既可以用立轴式砂轮，也可以用卧轴式砂轮。

矩形工作台作纵向往复运动，在液压机构下，可无级变速。

此外也有用砂轮轴两面磨削工件的两端型设备。

▼龙门平面磨床（2 主轴头）





▲双端面平面磨床

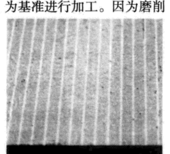
# 电磁吸盘

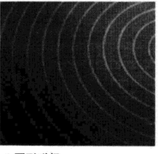
平面磨削主要是以平面为基准进行加工。因为磨削零件几乎都是铁等磁性材料，因此一般采用电磁吸盘装夹。虽说是电磁吸盘，但是安装方法也不同于车床卡盘装夹。

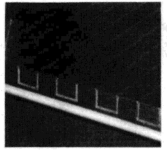
所使用的磁铁分为两种，即电磁铁和永磁铁。由于操作简单及价格便宜等原因。电磁铁用得较多。

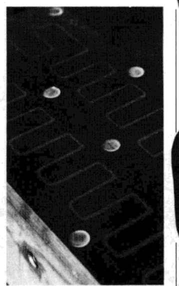
使用电磁（铁）吸盘是利用直流电产生的磁力，将工件牢牢吸在磨床的工作台上，它的原理就是，在钢制吸盘体中的凸起铁心上绕上线圈，通上电流，便是磁铁，切断电流磁力就消失，所以用切断和接通电开关来控制。

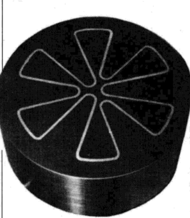
使用永磁吸盘就是靠转动永磁铁改变磁力流动的方向，使磁力流向吸盘表面或通向吸盘内部。用控制杆转

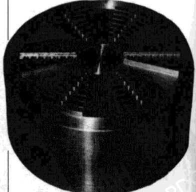

▲矩形磁极，白线是绝磁层


▲圆形磁极


▲凵状的隔板（绝缘板）


▲矩形里也有这样的磁极


▲星形磁极


▲特殊的专用吸盘

动永磁吸盘。这和用千分尺测量架使用的电磁吸盘原理相同。

电磁吸盘的外形有矩形和圆形两种，分别用于矩台平面磨床和圆台平面磨床。

如果把工件横跨到吸盘表面的S极和N极上，磁力通过工件可以从S极流向N极，工件被牢固地固定在吸盘上，所以一般情况下S极和N极都交叉地配置在不同的表面，即方形平行地、圆形环状地交互地分布在上S极和N极。

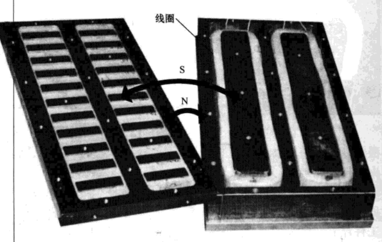
如果想加大吸力，就必须加大磁极，磁通量就多。但这就导致磁极间距变大。这样一来，就无法用于小工件加工。

除了S极、N极交替地使用外，为了加强吸力，还可以用其他各种形状的磁极。

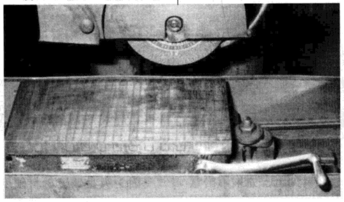
在吸盘的上板上用凵状的绝磁层或绝缘材料被分隔，被绝缘的磁极材料各自都接触到电磁铁的S极N极后形成各磁极。

即假设把接触到线圈中的铁心为S极，接触到侧板（N极）就被绝缘极绝缘了。

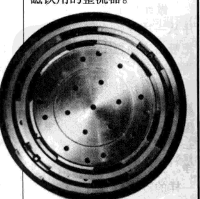
另外，因电磁铁用的电流都是直流，所以需要整流器。现在用的磨床内都设电磁铁用的整流器。




▲上板（左）的背面如箭头所示与底板的电磁铁（右）接触



▲永磁铁的设备用右侧的控制杆转动磁铁



▲电是从背面的两根线路（通过）



# 电磁吸盘装夹

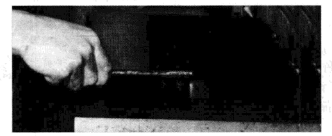
1

因为在平面磨削上，以吸盘表面为基准，所以当装夹工件时，首先必须把吸盘表面清洁干净，如果吸盘表面残留着某种杂物，会导致工件浮起及吸盘的吸着力减弱。从而降低加工精度及使安全性变差。

首先，用橡胶电刷从一边开始把吸盘表面彻底刷干净，但是绝对禁止用电刷反复刷，一定要从一边开始刷。如果反复刷，粘在电刷上的磨屑就会又重新粘在吸盘上。

做此项工作时，要按顺序从一边开始，一点一点地把吸盘表面擦干净后用纱布再擦一遍。

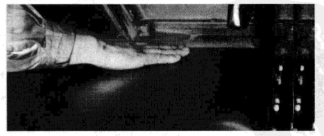
其次，再用干净的手掌擦一遍来确认是否擦干净。因为人的手非常敏感，手擦一下马上就会知道是否擦干净。工件也要用同清洁吸盘一样的方法清洁后，再用手掌确认。当确认吸盘和工件都擦干净后，再轻轻地把工件放在吸盘上，如果不出意外情况，要把工件放在吸盘中心部。



▲首先，用橡胶电刷刷吸盘表面



▲然后，用纱布把吸盘表面擦干净

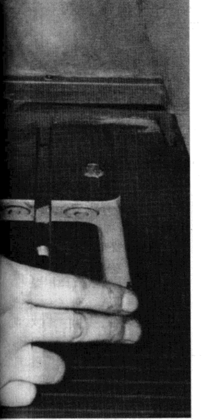


▲最后再用干净的手掌擦一遍

因为吸盘磁极材料硬度低，所以稍微碰上点硬东西就会出划痕或者出现飞边。

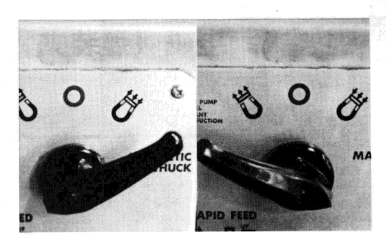


▲要把工件擦干净

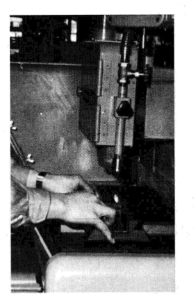


▲请轻轻把工件放上

装夹工件时，要轻拿轻放，工件位置确定后，再打开开关，电磁铁就开始工作了。



▲左侧照片显示磁铁正在工作，中央的照片正在磨削，右侧照片是反向调整正负时的控制杆位置，去掉残留磁力



▲拆装要从吸盘侧开始

永磁铁设备要用手杆控制。需要注意的是用手操作时要仔细确认磁力是否起作用。

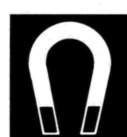
拆装时，无论是电开关，还是手柄开关，都要逆向拆装。

这是因为工件和电磁吸盘上仍会保留着一部分磁力，有时即使关掉电磁吸盘电源，工件也不容易取下。

这时需将开关转到退磁位置。多次改变线圈中的电流方向，把剩下的磁力去掉，工件就容易取下了。

永久磁铁因用手柄操作，效果一样。

磁力消失后，可根据工件形状用木棒或钢棒将工件撬松后，再从吸盘上轻轻取出，切不可突然松手，以防工件锐角划伤磁铁吸盘。



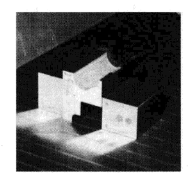
# 电磁吸盘装夹

2

用电磁吸盘上装夹工件时，会遇到各种形状的工件。但是当工件的面积及底面积都很大时，装夹中就没有限制。

问题出在工件底面小、高度大、基准底面不平、立不稳，或者磨削面的纵横比例大的工件的装夹上，装夹时可以采用以下方法。

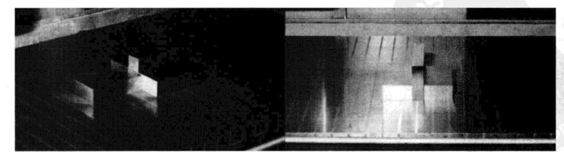
若工件底面小、高度大、立不稳时，要从两侧用夹具固定，再在砂轮磨削力方向添设调节楔支承，以防倒下。



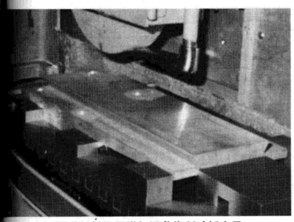
▲用调节楔支承，以防倒下

但要注意工件的装夹方法，像（面积）宽度小、细长的工件，移动一次矩形工作台就能完成所有磨削，安装时没必要使滑板进给。但在工件易倒方向，也需要磁铁压力。

但是，如果出现因工件有台阶，必须用特殊方式装夹时，一定把工件放到绝缘层、绝缘板上（见第100页），用S极和N极横跨的装夹方法。这样一来，磁铁通过工件由S极通到N极，电磁吸盘产生吸力后和支撑两侧的调节楔一起都有吸力作用，所以应不会出现大问题。但是要严格遵守装夹规程。



▲若是像这样细长的工件，需按左侧照片所示装夹。移动一次矩形工作台就能完成所有磨削时，会因砂轮磨削力产生阻力。不能按右侧照片所示使滑板进给，以防止其倒下。但是如必须按以上的方法进行装夹时，放置工件要如左侧照片所示，采用把工件横放到（隔板、分离器）上的装夹方法。



▲不导磁材料要用增加调节楔制动板支承



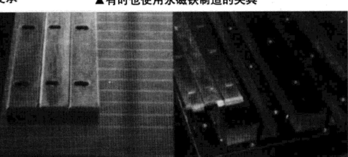
▲有时也使用永磁铁制造的夹具

工件材料里有铝、黄铜、铜等，称为非磁性材料。吸不住磁铁，如果用术语讲，即为不导磁材料。像18–8的不锈钢SUS27.32，就属于不导磁材料。虽然类似材料几乎不用磨削加工，但有时也会进行磨削。

安装非导磁性工件时，要用调节楔将周围固定。

另外，方形电磁吸盘的对面左右侧都带有非磁性固定板。升高固定板就可以支撑工件。

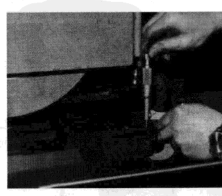
经常是吸盘周围装夹多个相同工件，这种情况下，根据工件的形状，即使工件交叉放在S极和N极上。因吸盘上板下的S极和N极如同第100页所述，所以必须



▲一次加工很多个相同工件时，从吸盘上板下的S极和N极的构造来看，中央一片磁铁吸力不足

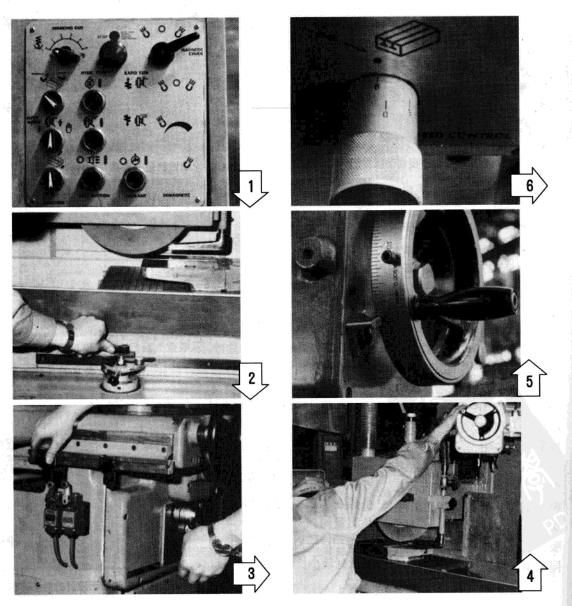
避开工件中几个磁铁通路过长、吸力过小。此时无论切削、进给等都必须和电磁吸盘的吸力的条件吻合。

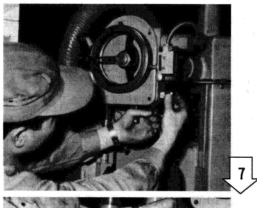
另外，在平面磨削中，虽然在加工中很难测量。但是测量时，可把工件从吸盘一端一点一点移到千分尺能测量到最小长度为止。



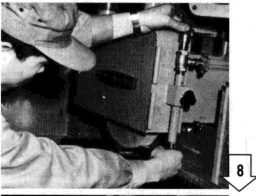
▲为加工中测量而设计的装夹方法

# 平面磨削的步骤

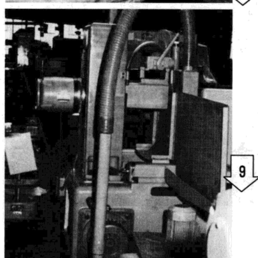




7



8



9

装夹完工件后，开机。

①操作面板上有好多个开关。如液压泵开关、砂轮轴开关、气动开关、磨削液控制开关，要把它们全部打开。

②移动工作台，尽量慢慢地移动。要把砂轮下端移动到离工件 30mm 处左右。确定工作台的装夹卡头。

③滑板上的卡爪也用相同方法来确定。

④确定了工件的移动范围后，让砂轮切入，如照片所示，从水平向内观察，用砂轮进给手柄一点一点地下调。当砂轮碰到工件表面，会发生声音，出现火花。

⑤要和手柄刻度吻合。

⑥之后，要确定滑板一次的进给量。

⑦调节滑板进给时的砂轮背吃刀量。另外，还要有手动控制一定量背吃刀量的（功能）设备。

⑧要调节磨削液管路的位置，调整到磨削液能顺利到达磨削面为止。在平面磨床上进行磨削时，磨屑横飞；而外圆磨削时，磨屑往下飞；内圆磨削时，磨屑往孔里钻。其他磨削中都不会出现类似于在平面磨床上磨削时出现的无法避免的磨屑到处飞溅的现象。磨屑飞溅，既不安全又不卫生，还会给修整带来很多麻烦。

⑨因此，用磨削液雾冲走磨屑后、把磨屑回收到磨削液箱的装置，最先开启的气动开关，就是这个装置。

# 薄壁工件的磨削

在平面磨削中最难的就是薄壁工件的磨削。薄壁工件磨削无论车床、铣（刀）床、手工加工都很麻烦。外圆磨削、内圆磨削也都一样。如果是平面磨削，必须要使用电磁吸盘来保护工件。

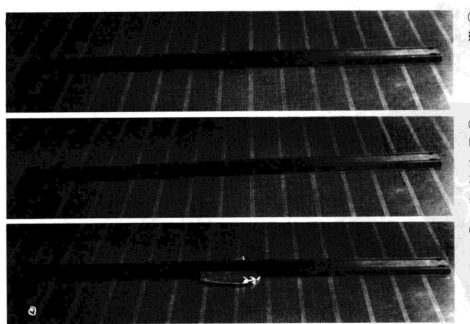
大概人们会认为，是易坏损的薄壁工件要用电磁吸盘吸住是最好的方法。但是，事实并不是这样，完全靠电磁吸盘把薄壁工件（当然很轻很弱）吸住并不好。

请看照片①，或许看不太清楚，但是可发现工件内侧有翘曲。所有薄壁工件都有，即使肉眼看不到，加工后薄壁工件也常常会变形。

薄壁工件有翘曲（凸凹）面时，如果起动电磁吸盘开关，如照片②所示。即原本有翘曲的工件直接被磁铁的吸力吸住，如果直接磨削，当从电磁吸盘取下时，就会又恢复到原来的有翘曲（凸凹）面的状态。

薄壁工件磨削方法同其他加工相同，有翘曲的工件要按有翘曲的方法加工。所以有翘曲（凸凹）面的工件，必须要保持其应有的状态。

因此，①中的薄壁工件就会用③的方法加工。即使在工件不平或者翘曲的地方填上了纸或铝箔等，被电磁吸盘吸住，其翘曲状态也不会改变。因为铝箔纸大多用于烟草包



① 薄壁工件上的翘曲（凹凸）面

② 如果起动电磁吸盘开关，会完全被吸住，但是不允许在这种状态下进行磨削

③ 要在正中间的空隙处填上纸、铝箔等

装及做菜上，所以随手可得。这种磨削只能磨削凸处，而不能进行全面磨削。如照片④所示，磨削到这种情况后，要把它完全翻过来再进行磨削。

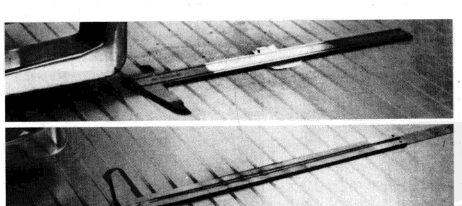
再翻过来磨削时，因被磨削的正中间完全吸附在一起，所以也会出现翘曲的现象。如果出现这种现象，如上所述在中间夹上薄壁工件。以照片⑤为例夹上了塞尺。如照片⑥所示，使用塞尺既可判断磨削的部分，又能磨削到翘起的两端部分。

若按照片④、照片⑥反复操作，一点一点地进行磨削，就可以消除翘起。但如果一次磨削太多，无论填多少纸，也会出现翘起。因为工件内部应力改变。

本页所谈到的薄壁工件，虽说称薄壁工件，但也有一定厚度，如果加工再薄壁工件时，要根据其翘曲的程度来调整要夹多少页纸张及纸张的大小，而且即使一次磨削部分再少，也要把由每次磨削所产生的内部应力变化调整到与工件的翘曲变化一致。

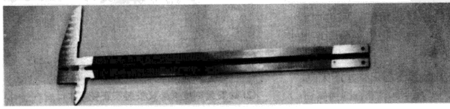
总而言之，薄壁工件不能强制把翘曲磨平。

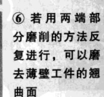
翘曲的工件要一点一点地反复磨削。



④ 只磨削中间高处

⑤ 这回要反过来装夹两端





⑥ 若用两端部分磨削的方法反复进行，可以磨去薄壁工件的翘曲面

# 角度磨削

要想在工件上加工出角度，必须采用倾斜磁性吸盘或者使用有角度的夹具等方法进行加工。

磨具和工件之间的关系同用铣床进行平面加工时的第三种方法，而不同之处是用平面铣床加工时不倾斜磨具（即砂轮），在万能工具磨床上可采用使砂轮轴倾斜进行加工的方法。但是，此种加工方法不适合加工精确级高的工件。

在平面磨床上一般要倾斜工件，若倾斜工件就得倾斜电磁吸盘，也有适合在平面磨床上用的磨削夹具。

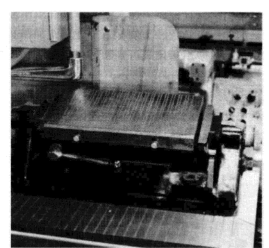
照片①所示是把永磁铁的倾斜吸盘安装在电磁铁吸盘上的设备，前面的操纵杆是用于变换内部永磁铁方向用的。

只要不是特殊情况，就要把倾斜吸盘，向前方倾斜，既利于拆装工件，又利于操作。因此，一般吸盘对面的压板都在前面。因为装夹面是斜面，所以最好用低的一侧支撑。

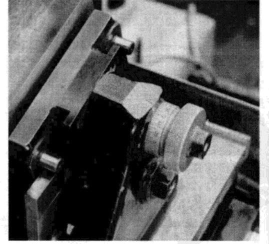
为了磨出角度，要把旋转轴固定螺钉旋松，把吸盘面倾斜到所需角度后再紧固。

主要要注意角度问题，如照片②所示为安装的角度刻度仪，但是用此刻度仪也很难准确测出角度。因此如照片①、②所示，除刻度仪外又安装了正弦规。用两根圆筒间的距离和下面的量块高度计算角度，就可以磨削出角度要求的精度，这是利用了数学中的三角函数原理。

照片③所示是和正弦规连在一起的夹具。



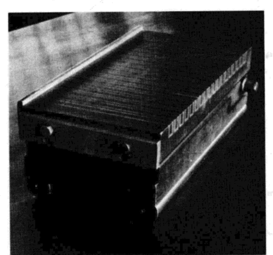
① 盘面倾斜



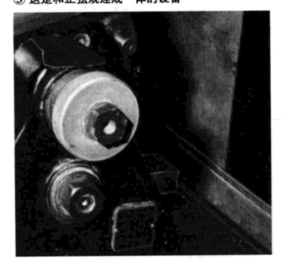
② 除安装刻度仪外又安装了正弦尺

另外，无论倾斜的角度多么正确，其倾斜轴的方向必须和矩形工作台往复方向完全一致。因此，如照片④所示，要抬高下侧吸盘对面的止动板后，在止动板和倾斜吸盘之间夹上相同尺寸的调节楔。如果移动量大，也要确定砂轮角度。

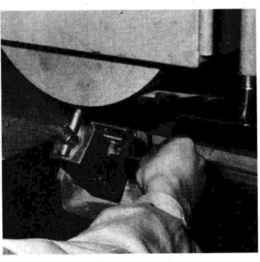
如照片⑤所示，要手动操作修整器，修整砂轮。照片⑥是使用电磁铁的倾斜吸盘，找出主要角度，再给砂轮确定角度后，正在对小角度面进行同时磨削的一个例子。



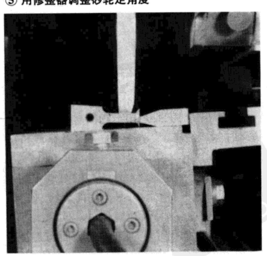
③ 这是和正弦规连成一体的设备



④ 抬高电磁吸盘止动板，夹上调节楔

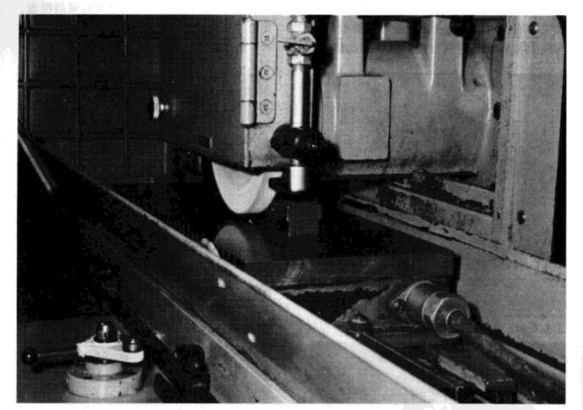


⑤ 用修整器调整砂轮定角度



⑥ 同时磨削两面的角度

# 侧面磨削



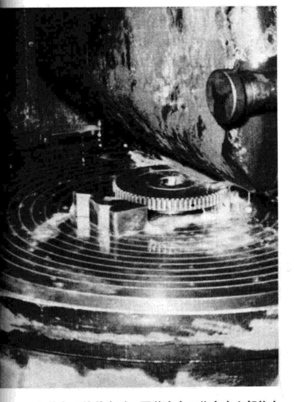
▲侧面磨削主要是将工件与工作台进给方向平行地进行磨削

侧面磨削主要是用平面磨床进行的特殊磨削。修整时，采用金刚石修整器进行修整。这同用外圆磨床进行的侧面磨削的原理相同。修整量不应超出外圆磨削时砂轮的修整量。一般平面磨削时都把工件旋转 90° 后进行磨削，当然有时也有例外。问题出在侧面磨削时，如何才能将工件的侧面与工作台进给方向平行地放置。因为反方向是直线，而且如果和加工侧面平行，就相当于电磁吸盘的挡板，可以使其平行。

当然，当安装电磁吸盘时，必须用工作台进给方向与吸盘侧面完全平行的方式安装。

因此，当安装完吸盘后，首先要用这种方法磨削吸盘侧面，然后必需再装上平行磨削时后面的挡板。

# 可转式平面磨削



▲单个工件装夹时，要装夹在工作台中心部位上

可转式平面磨削是用圆形工作台进行的磨削。一般情况下，放置工件的圆形工作台原封不动地变成了电磁吸盘。

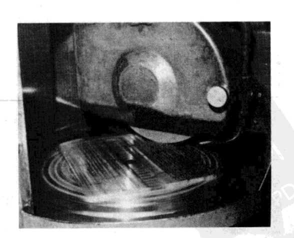
卧轴磨削是砂轮像牛头刨刀那样在水平方向往复进给进行的磨削。

可转式磨削时，圆形工作台的转速相当于工件的圆周速度。但是必须注意的是，根据工件装夹的位置不同，即使是工作台转速相同，工件的圆周速度也有差别。

但是，最近的新型磨床是把圆形工作台的转速作为砂轮的往复运动和联动的不等速旋转，即砂轮在圆形工作台外部时，把圆形工作台的旋转速度放慢，随着砂轮前进至圆形工作台中心处，要提高圆形工作台的旋转速度，来将工件的圆周速度调整在一定范围。

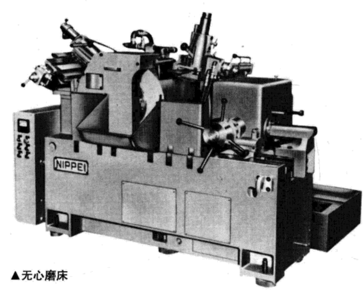
把工件装夹在圆形工作台上，当装夹工件为一个时，要装夹在接近圆形工作台中心的位置；要装夹的工件数量多时，尽量以圆形工作台为中心，均匀地装夹在四周，为了不浪费时间，尽量使工件靠近一些。

矩台平面磨床上，工作台往复运动时，会出现两端工作台不动的现象。但是可转式就不会出现矩形工作台那样的现象，其优点就是能使砂轮连续运转。



▲同时加工多个工件时要均匀地装夹在四周

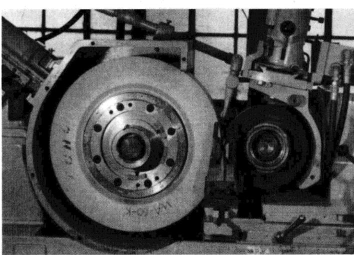
# 无心磨削的原理

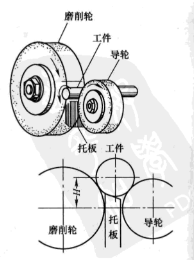


▲无心磨床

一般说到无心磨床时，都省略磨床二字，只称为无心。严格地说，它是外圆磨床的一种，但是没有为使工件定位的顶尖，而且不只是没有顶尖，连工件的方式、旋转方式、进给方式、切削方式、砂轮和工件的关系全都不同。

无心磨床是由磨削轮、托板、导轮等基本要素构成的。而且工件装在两个导轮之间的托板上。这样就可以利用导轮的摩擦力使工件旋转。但是，由于导轮旋转速度较慢，所以导轮又变成制动器，在工件和磨削轮磨削力处于平衡的状态下旋转，完成磨削过程。


▲磨削轮（左）托板（中间）和导轮



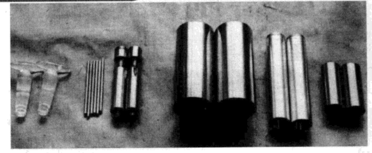
▲无心磨床的构造

虽说工件是靠导轮与工件之间的摩擦力旋转，但是因磨削轮转速较快，便由此产生了磨削力。

另外，工件如照片所示，仅仅要把 *H* 调整为高于连接砂轮和导轮的中心的线。

无心磨削有通磨法（又称贯穿磨削法）和切入磨削法两种方法。

通磨法是磨削时工件在磨削轮和导轮之间一边旋转，一边纵向进给。切入磨削法是工件在磨削轮和导轮之间无纵向移动的磨削方法。因为通磨法是使工件纵向贯穿进行的磨削，所以仅限于没有台阶的工件的磨削，多用于磨削非常长的工件、空心工件、短而且不能用夹具装夹的工件。



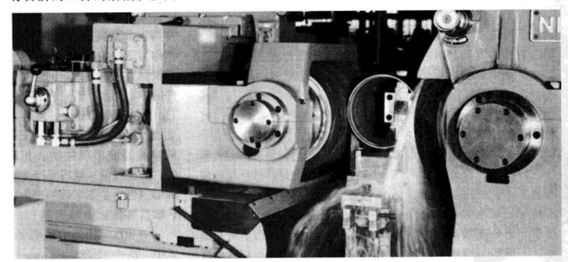
▲用无心磨削法磨削的工件

切入磨削法是工件从上方输入，靠进给砂轮或导轮进行的磨削。若是固定尺寸，要使砂轮或导轮后退，取出工件，适于流水作业和自动化生产。

因为切入磨削时，工件在纵向停止运动，所以适用于台阶工件、带头的圆柱形工件和锥形工件的磨削。

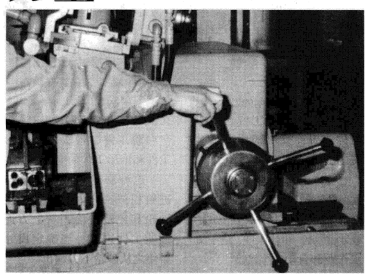
这种磨削方法的接线与进给相似。这种方法是不使砂轮和导轮进给，从上方连续使工件进入，当确定尺寸后使之从砂轮下方输出。

一般，通磨法使用较多。



▲切入磨削法适合于磨削像这样的空心、薄壁和大径工件

# 无心磨削的背吃刀量



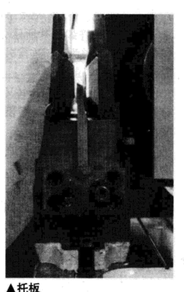
▲背吃刀量靠前后移动导轮的位置来决定

用无心磨削一般没有设定背吃刀量。而用托板的高度、工件的直径和导轮的位置来自动定位。所以当磨削有一定磨削量的工件时，在工件通磨的过程中自动定好尺寸后，从相反方向进行加工。

当然工件会出现磨削部分有些变细，中心有些变凹的情况，这时可以通过前后移动导轮来修整尺寸过大或过小。另外托板高度非常重要，不能轻易变动托板的高度。它与导轮进给有很大关系。进给速度也同样重要，一旦确定了导轮的倾斜角度，按倾斜角度修整好导轮后，就不能再反复多次地再修整导轮角度及改变导轮的刃带。如果反复多次修整导轮，尺寸就会变小。

这一点与其他磨床大大不同。正因为如此，虽然此步骤上费时间，但是一旦定位后，就只剩下工件进给的工序了，适合于批量生产。以后可根据砂轮磨损的程度（包括砂轮修整）再适当修整。

# 托板



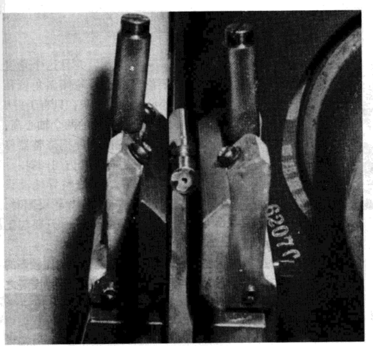
▲托板

无心磨床的托板是确定工件高度的重要的（附件）。虽然称为工件的高度，但是这也是根据直径确定的。问题是工件的中心高度，若定为（见第114页的$H$）的高度，就容易变成圆形。而如果过高，工件就容易翘曲出现振动。相反的，如果过低，就容易产生棱圆形（当然是膨胀后的现象）。一般其基准应为

$$H=0.02\sim0.03\times(D+d)$$

式中　$D$——导轮直径（mm）；

$d$——工件直径（mm）。

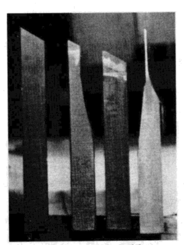


▲**工件可以由托板支撑，进行通磨**

即使使用相同的托板，根据工件的直径，其中心高度 *H* 也会出现变化。另外根据工件的直径范围，使用哪种托板也有限制，一般大直径的用厚托板，小直径的用薄托板。托板的支承面角度一般为 60° ~70° ，如果角度太小，工件就会掉进托板和导轮中间。这样一来，托板就会被工件推到砂轮侧，使砂轮振动产生振纹。

挡板厚度太薄也容易引起振动，根据厚度不同，可以定为 $\phi$3~$\phi$6mm 用，$\phi$6~$\phi$8mm 用。

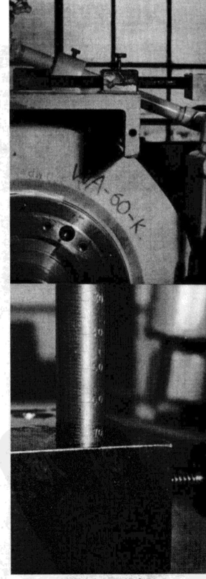
托板上安装着高速钢、



▲**托板要根据工件大小选择**

硬质钢等。

另外，实际磨削中，也有使（见照片）测量仪表与工件




▲**测量托板高度的测量仪表**

上方相接触，用上面的刻度测量其高度的方法，当然具体尺寸是根据 *H*+ 工件的半径来读出。

# 通磨时的进给法

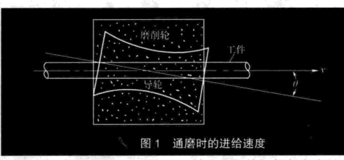
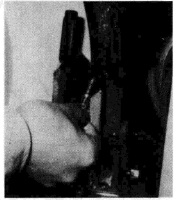


图 1　通磨时的进给速度


▲工件的进给

在无心磨削时，用通磨法进给工件（纵向进给），使导轮在砂轮轴线向上下倾斜 2°～3°。

这种情况下，工件的进给速度如（图 1）所示。

$$v=\pi dn\sin\theta$$

式中　$v$——进给速度(mm/min)；

$d$——导轮直径（mm）；

$n$——导轮旋转数（r/min）；

$\theta$——导轮倾斜角度（°）。

根据以上公式可知，导轮旋转速度越快、倾斜角度越大，工件进给速度就越快。但是实际问题出在导轮倾斜度很小，又不能随意变大，在这种情况下一般采用靠调整导轮的转速的方法进行修正。

一旦导轮倾斜，就只能有一小部分接触到工件时，要把导轮外形加工成双曲面形，用导轮的整个面积和工件线性接触的方法进行加工。

为此，要把修整工具移动方向，相对导轮轴向上倾斜一定角度。并且这个角度要修整成比导轮倾斜角度稍小些。这样一来，只有工件$H$比砂轮、导轮的两个轴心高，所以要按照刻度把修整器修整成只是向着 $H$ 方向倾斜。

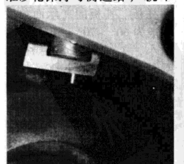

▲修正修整器倾斜角度的刻度

但是，为修整导轮而设定的修整器，在导轮反侧时，与导轮倾斜无关，只要与工件平行地进给就可以了。

只是，现在使用比较多的修整器，都不是用工件和导轮之间的线接触方式，而采用 90° 直角，即在上方的接触方式。

另外众所周知，在其他磨床上，为了确保工件完好无损，采用工件装夹固紧方式，而若是无心磨削，因工件呈自由移动状态开始接触砂轮。

为此，如果不把工件对准砂轮保持均衡进给，就不


▲把修整器修正成只是朝着 $H$ 方向倾斜的刻度

▲无心磨削特别适合磨削这样长的工件，从入口到出口只是一根



▲加工长工件时，导板、托板都长

能磨削成正圆形。这一点非常重要，务必牢记。

为了能将工件正确地进给，在砂轮和导轮之间设立了导板（见图2），导板有必要安装在出口处。导板除要和砂轮轴保持平行外，也要和进给出入口保持在一条直线上。并且要尽量固定在导轮附近。如果导板安装不正确，会导致圆度的精度降低。工件越短，精度降低表现得越严重。

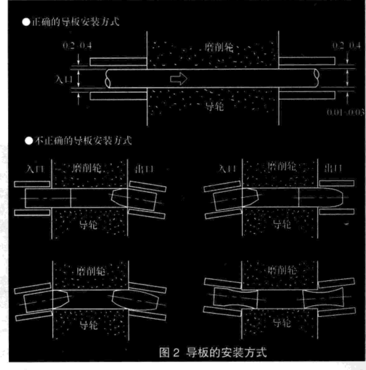



图 2 导板的安装方式

# 工具磨床的结构

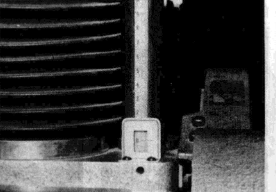
工作台前后进给手柄
工作台停止
工作台左右进给操纵杆

虽然工具磨床也同属于磨床，但与其他的磨床完全不同，其他的磨床大多都是以加工某种形状为目的的专用磨床，并且砂轮与工件的相对关系几乎是固定的，特别是砂轮轴非常重要，不可随意移动。

但是，工具磨床与其他的加工部件的磨床不同。正如它的名字所说的，是磨削工具切削刃的磨床。所以它并不适合大面积的磨削，而只是适合狭窄面积的切削刃等的磨削，是对刀具进行开刃的磨床。

虽说是为了刀具开刃而设计的磨床，但其磨削的功能却没有

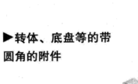
① 可以在水平面上旋转 360°



② 砂轮轴上下移动的刻度

改变。只是由于工具形状各异，切削刃的形态也不固定。

因此，工具零件的装夹方法也有各种各样形式。砂轮，即砂轮轴能自由地移动。因为磨削量小，所以机床的损耗也小。在有铣床的工厂里，铣刀类的切削刃开刃，重新刃磨最好在工厂内部进行，既节省时间，搬动又方便。为了提高效率，在中小工厂也开始安装工具磨床了。因此即使在大工厂，专门集中磨削工具的地方，使用工具磨床的工人也不是一般的磨工，而是从其他机床加工改行过来的。在中小工厂中不设专门人员，而是临时根据工作需要自行进行刀具开刃等工作。



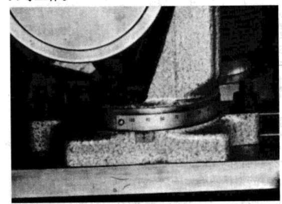


▶转体、底盘等的带圆角的附件

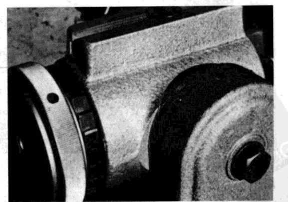
工具磨床，因为加工对象是工具，所以无需太大。装卡工具的工作台的旋转量也不太大，只是要求砂轮轴要做成能适应各种形状的工具。在水平面上能自由旋转360°，上下能移动。

工件装夹除了两顶尖支撑外，要装夹成能在水平面上自由旋转360°及能上下移动90°，另外，也有为磨削钻头和切削刃安装的附件。装夹工具的工作台，可以用手动进行前后、左右移动。因为转动量小，所以用手动。因为对象是比热容小的切削刃，所以如果砂轮背吃刀量、进给量等过大，会导致磨削烧伤。背吃刀量标准如下（单位为mm）：

| | 高速钢 | 硬质合金 |
|---|---|---|
| 精加工 | 0～0.005 | 0~0.005 |
| 粗加工 | 0.01～0.02 | 0.005～0.015 |



③ 装夹工具后，水平旋转



④ 工具能上下旋转

# 立铣刀的磨削

其装夹情况如照片所示，立铣刀端齿的后角的磨削同第121页的④相同。切削刃和砂轮轴心高度相同，或是稍微高于轴心高度。

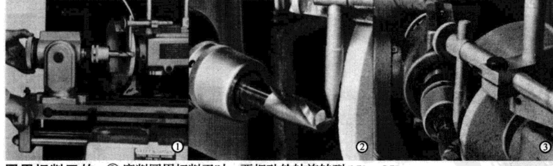
磨削圆周切削刃时，稍微转动砂轮轴（15°~25°），砂轮的使用方法相同。并从上面确定砂轮和切削刃的接触点，使之与齿托片重合。但是，由于砂轮的转动，立铣刀也会转动，所以要用左手将立铣刀相反方向（靠近自己）转动，边转动边支撑。

特别是磨削刀具的螺旋齿时，必须一边进给工作台一边旋转立铣刀，把切削刃从砂轮卸下后还要旋转装夹时，要使切削刃安装高出砂轮的中心5~6mm。



**端切削刃的后角磨削**

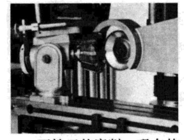
① 端切削刃磨时，要放在面前的分度。工作台用制动器控制停止。
② 进给工作台，一直到立铣刀的中心部位与砂轮面开始接触为止。
③ 当磨削出1刃后，要把砂轮退出后进行下1个刃的磨削（要磨削2个刃就要旋转180°，要磨削4个刃就旋转90°）。



**圆周切削刃的磨削**

① 磨削圆周切削刃时，要把砂轮轴旋转到15°~25°。
② 从上向下使齿托片正好与立铣刀的刀槽重合。
③ 边进给工作台，边用左手使工件向着与砂轮转动相反的方向转动，如照片所示，齿托片从侧面看与砂轮倾斜。

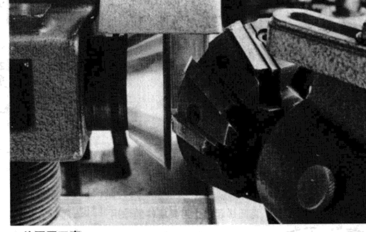
# 面铣刀的磨削



面铣刀的磨削，现在的几乎都使用像金刚钻笔那样的硬质的材料的砂轮（杯形、带锥度的杯形）。

面铣刀的切削刃要比其他的铣刀的切削刃复杂，所以要磨削的地方就很多，面铣刀的磨削，按照外圆周刃、端面刃、槽的顺序来磨削。

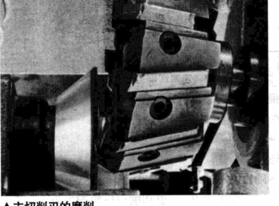
面铣刀的分度，即可以使用转台后侧的分度盘进行分度，也可以用齿托片进行。



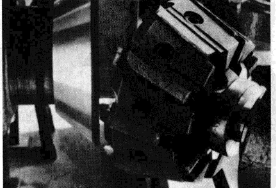
▲外圆周刃磨

每个刃的磨削都必须变换角度，使转台角度沿着水平方向或上下方向旋转。只是若使用杯形砂轮，必须使其砂轮的使用面与工作台的移动方向平行。只要砂轮的使用面与工作台的移动方向平行，就如同其他铣刀与砂轮中心的关系一样，只要没有意外，就不会出现大的问题。

接下来，要把转台旋转到与各个后角对应的角度上。

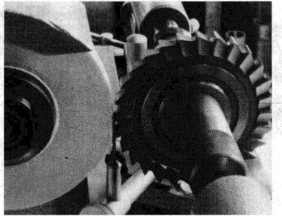


▲主切削刃的磨削

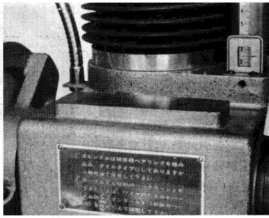


▲槽的磨削

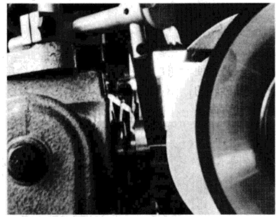
# 三面刃铣刀的磨削

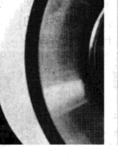


▲磨削圆周切削刃，齿托片起阻止刀具旋转的作用



▲通过右侧的刻度确定外圆周切削刃的后角





▲磨削端切削刃



▲用此刻度确定端切削刃的后角

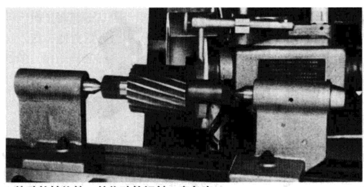
三面刃铣刀有外圆周切削刃和端切削刃两部分。装夹时，一般采用工作台的单臂支撑装夹或通过心轴用两个顶尖支撑装夹的两种方法。

首先，是外圆周切削刃的后角，其后角根据切削刃与砂轮之间的位置关系会发生变化。

同时，根据砂轮的旋转方向与刀具的接触方式，如果必须用左手让随着砂轮旋转的刀具停止，齿托片和分度机构也有阻止刀具旋转的作用。

通过照片，不仅能解了端切削刃的磨削方法，而且通过工作台的后角和砂轮轴心与刀具的位置关系也会知道切削刃后角的大小。

# 圆柱铣刀的磨削



▲使砂轮轴旋转，并将砂轮倾斜一定角度

只有外圆周切削刃的圆柱铣刀，其外圆周切削刃同三面刃铣刀的外圆周切削刃相同，但是由于圆柱铣刀的切削刃比三面刃铣刀的切削刃长，所以要用两顶尖通过心轴支撑。

另外，因为圆柱铣刀几乎都是螺旋齿切削刃，所以使用砂轮角磨削。螺旋齿切削刃等同于立铣刀的外圆周切削刃。

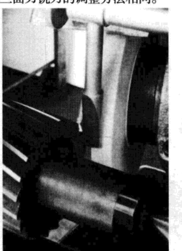
切削刃斜角的调整方法同三面刃铣刀的调整方法相同。

如果齿托片的刀尖与铣刀的螺旋齿切削刃的螺旋角不能重合吻合，铣刀两端的部分就会损坏。若是立铣刀的螺旋齿切削刃，只能从一侧与砂轮分开，所以齿托片的宽度没有什么要求。

然而，圆柱铣刀必须进给到两端与砂轮分离为止。为此，齿托片必须能支撑铣刀两端进给到与砂轮分离为止时铣刀切削刃的宽度。

一边进给工作台一边用左手转动铣刀，直至铣刀的切削刃离开砂轮为止，这一操作与用立铣刀的螺旋齿切削刃操作相同。

▲后角的修整方法同三面刃铣刀的修整方法相同

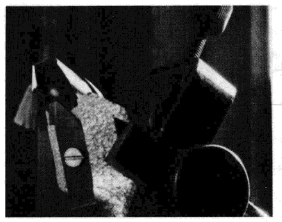


▲托齿片必须从切削刃接触到砂轮开始作用

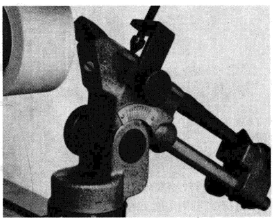


▲托齿片必须作用到切削刃离开砂轮为止

# 钻头及车刀的磨削

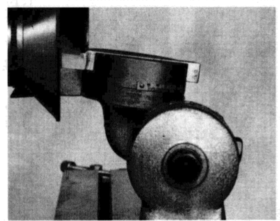


▲如果来自齿托片的刀尖角大，后角就大

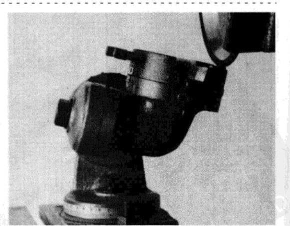


▲用刻度确定前角

**钻头磨削**　　要使钻头两面的切削刃正好重合，需要技术相当熟练。但是如果使用此附件，操作就会非常简单。如砂轮用杯形的。后角大小由齿托片的大小来确定。



▲取前面的斜角



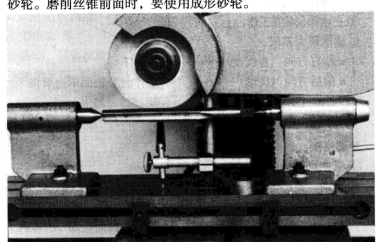
▲加工出的断屑槽

**车刀的磨削**　　如果所用车刀上使用硬质材料的附件时，就能精确地加工出前角、断屑槽等。

# 其他刀具的磨削

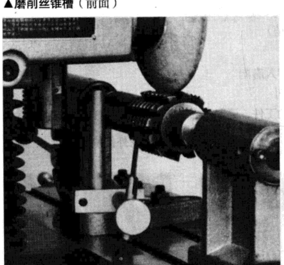
加工锥形铰刀时要使工作台扳转一定角度。

要磨削铰刀、滚刀、直齿立铣刀等等的前面时，都使用盘形砂轮。磨削丝锥前面时，要使用成形砂轮。



▲磨削丝锥槽（前面）

▲磨削锥形铰刀

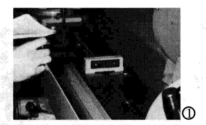


▲磨削滚刀前面

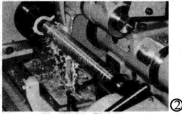


▲磨削锯片铣刀

# 磨床的检修①外圆磨床

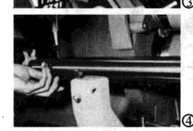


①



②

③

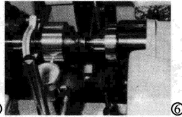


④



| 检查项目·方法 | 主要故障原因 |
| --- | --- |
| **工作台运动直线度、挠度**<br>① 把水平仪放在工作台上，读取最大差值。<br>● 左右方向（直线度）<br>● 前后方向（挠度） | 安装不好<br>工作台导轨面单边磨损 |
| **外圆磨削、纵向磨削精度**<br>② 纵向进给磨削<br>③ 振动，要旋转工件（测量左、右和中间三个部位），读取最大值<br>④ 圆度和圆柱度要用直径差来读取最大值（测量4～5处取值） | 主轴磨削<br>砂轮外圆周振动 |
| **外圆磨削、切入磨削**<br>⑤ 切入式磨削<br>⑥ 振动，转动工件，读取最大值<br>⑦ 用读取最大圆度值 | 主轴损耗<br>砂轮外圆周振动 |

⑤



⑥⑦

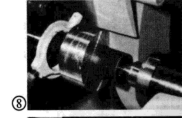


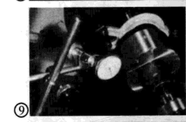


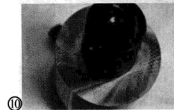
如果是新设备经 JIS 精度检查合格，就能保持一定的精度。但是如果使用一段时间，会出现易损耗和不易损耗的差别。而且其差别体现在加工精度上，所以如果经常查看，就会了解所用机床的特性、毛病。简单的检查如下：

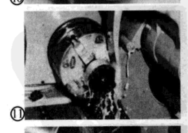
| 检查项目·方法 | 主要故障原因 |
|---|---|
| **端面磨削的精度** | |
| ⑧ 磨削端面 | |
| ⑨ 振动，要多次旋转工件读取最大值 | 主轴损耗<br>主轴弹簧压力不足<br>砂轮轴向振动 |
| ⑩ 查看网纹状态 | 砂轮轴向振动<br>工件旋转中心线和砂轮轴线平行度不好所致 |
| **外圆磨削、卡盘工作精度** | |
| ⑪ 增加卡盘，磨削<br>⑫ 振动，要多次转动工件取最大值 | 主轴轴承不好<br>（卡盘装夹）不好 |

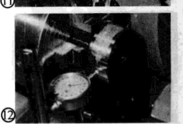
**砂轮轴振动**——参考第 131 页平面磨削


⑧

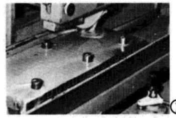

⑨

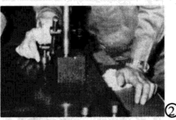

⑩


⑪


⑫

# 磨床的检修②平面磨床





**检查项目·方法** | **主要故障原因**

**平面磨削的平行度**

① 平面磨削（要等间隔的装夹 6 个工件）

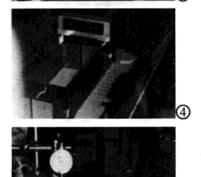
② 读取 6 个最大差值——装夹不好／卡盘上部故障

**平面磨削的平面度**

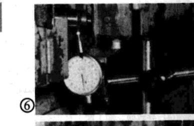
③ 平面磨削（平行装夹 2 个工件）

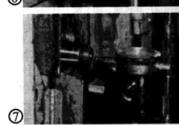
④ 用水平仪读取水平面内的前后方向的弯曲度，取最大值（在右、左和中间三处测量）——装夹不好／工作台导轨面磨损／滑板导轨面磨损／砂轮导轨面磨损

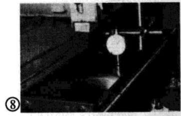
⑤ 读取左右方向的直线度，在最大差之中取最大值（用分度盘式指示器每个测量 5 处）——装夹不好／工作台导轨面磨损

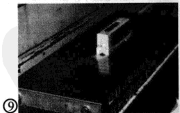
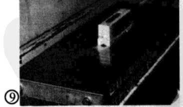


| 检查项目·方法 | 主要故障原因 |
|---|---|
| **砂轮摆动** | |
| ⑥ 多次旋转砂轮轴，读取径向的振动值 | 砂轮轴承不好<br>砂轮轴弯曲 |
| ⑦ 多次转动砂轮轴，读取轴向的振动值 | 砂轮轴承不好 |
| **工作台、滑板运动及卡盘上面的平行度** | |
| ⑧ 前后、左右移动后，读取最大差值 | |
| • 前后移动 | 滑板导轨面的滑板单边磨损<br>卡盘工作平面不平 |
| • 左右移动 | 工作台导轨面的工作台单边磨损<br>卡盘工作平面不平 |
| **工作台、滑板运动的直线度** | |
| ⑨ 在工作台安装水平仪，读取左右的直线度及挠度的最大差值<br>⑩ 在工作台安装水平仪，读取前后的直线度及挠度的最大差值 | 工作台导轨面的滑板单边磨损<br>滑板导轨面的滑鞍单边磨损<br>滑板导轨面的滑床单边磨损 |


⑥


⑦


⑧



⑨


⑩

# 平面、外圆、万能磨床的每月例行检查表

制造公司名　　　　　　　　　　购入年月日

形式　　　　　　　　　　　　　机号

| 类别 | 项目 | 点检年月 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | / | / | / |
| 外观 | (1) 工作台电磁吸盘上是否有锈和划痕 | | | |
| | (2) 砂轮轴的锥形部是否有锈和划痕 | | | |
| | (3) 蛇纹管等的保护盖是否完好 | | | |
| | (4) 导轨面、加工面上是否有锈和划痕 | | | |
| | (5) 接触刷、挡油环处是否有磨损 | | | |
| | (6) 夹头、环形手柄是否弯曲、松动 | | | |
| | (7) 油壶、润滑油壶是否有破损、变形 | | | |
| | (8) 装夹是否正常 | | | |
| | (9) 刻度及显示面板是否清楚 | | | |
| 电气件 | (1) 开关外壳是否完好 | | | |
| | (2) 开关盒内是否有磨削液、垃圾等 | | | |
| | (3) 开关接点是否有损伤 | | | |
| | (4) 控制箱内规定的引管是否安装好 | | | |
| | (5) 地线是否正确安装好 | | | |
| | (6) 电动机、配线是否有绝缘失效 | | | |
| | (7) 各部分的连线是否有松动 | | | |
| | (8) 电线的熔丝是否有损坏 | | | |
| | (9) 各个开关都能正常运作 | | | |
| | (10) 各种指示灯正常 | | | |
| | (11) 附属电流计、电压计是否有异常 | | | |
| | (12) 电动机是否有异响和异常发热 | | | |
| | (13) 电磁吸盘是否正常工作 | | | |
| | (14) 照明装置是否灯亮 | | | |
| 滑润油、工作油及液压装置 | (1) 滑润油槽里是否有规定量的油 | | | |
| | (2) 润滑油是否变坏 | | | |
| | (3) 润滑油处的给油量是否合格 | | | |
| | (4) 手压泵处的润滑效果是否良好 | | | |
| | (5) 油壶、润滑壶是否堵塞 | | | |
| | (6) 加工油槽的油量是否适中 | | | |
| | (7) 加工油是否定期更换 | | | |
| | (8) 加工油的压力是否正常 | | | |
| | (9) 压力计的指针是否有异常振动 | | | |
| | (10) 液压滚筒是否漏油 | | | |
| | (11) 油管的阀门处、接口处是否漏油 | | | |
| | (12) 过滤器是否堵塞 | | | |
| | (13) 电磁阀是否有异常振动、发热 | | | |

| 类别 | 项目 | 点检年月 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | / | / | / |
| 吸尘、注水装置 | (1) 磨削液压泵的工作是否正常 | | | |
| | (2) 分离器、过滤器是否正常工作 | | | |
| | (3) 吸尘装置是否正常工作 | | | |
| | (4) 管等部件的接口处是否有漏油 | | | |
| 工作台的左右进给和回转 | (1) 手动进给手轮的装卸是否准确 | | | |
| | (2) 手动进给时润滑一样 | | | |
| | (3) 手动进给、回转起动、停止是否准确 | | | |
| | (4) 手动进给、回转是否有异音和异常振动 | | | |
| | (5) 间歇进给、回转中速度变换正常 | | | |
| | (6) 连续进给、回转中的速度调整是否顺畅 | | | |
| | (7) 自动进给、回转中是否有停顿 | | | |
| | (8) 进给的方向变换时是否有冲击 | | | |
| *床鞍的前后进给 | (1) 手动进给手轮的装卸是否准确 | | | |
| | (2) 手动进给时润滑一样 | | | |
| | (3) 进给手轮的游隙是否变得过大 | | | |
| | (4) 刻度盘是否牢固 | | | |
| | (5) 进给的开始、停止是否顺畅 | | | |
| | (6) 间歇进给、进给量是否准确 | | | |
| | (7) 连续进给的速度调整是否顺畅 | | | |
| | (8) 进给时是否存在异响、异常振动 | | | |
| 砂轮头或砂轮架的切入进给 | (1) 手动进给轮的装卸是否准确 | | | |
| | (2) 手动进给是否一样顺畅 | | | |
| | (3) 进给手轮的游隙是否变得过大 | | | |
| | (4) 刻度环是否牢固 | | | |
| | (5) 切入的起动、停止是否正常 | | | |
| | (6) 切入工作是否一样顺畅 | | | |
| | (7) 切入时是否有异响、异常振动 | | | |
| | (8) 间歇切入量的变换是否准确 | | | |
| | (9) 连续切入的速度调整是否准确 | | | |
| | (10) 进给量设定装置的自动停止是否准确 | | | |
| 砂轮轴 | (1) 回转中是否在异响、异常振动 | | | |
| | (2) 轴的承受部的温度是否异常地高 | | | |
| | (3) 轮带的松紧程度是否适中 | | | |
| 主轴台 | (1) 回转中是否有异响、异常振动 | | | |
| | (2) 轮带的松紧程度是否适中 | | | |

* 砂轮头前后运动的平面磨削盘的砂轮头也依据此表进行点检

# 磨削加工5问

## 1放置工件的工作台的位置



每个工厂都一样，大同小异。先把工作机床摆放好，操作者面向机床站立，人身后就是工厂内的通道。而且工具箱（台）不是放在工人的右侧，就放在工人的左侧。但是，此时工件又该放在哪里呢？

如果工件小，可以和工具箱一起放在工作台上。如果工件稍微大一些，就和工具分放在不同的各自的放置台上。如果工件很大，一般就会放在地上吧，或者根据磨床配置，也有放在工人身后的情况。

这些工具和工件摆放方法，有时会影响到工作效率和疲劳程度。

如果是其他机床的话，会使用从刀具到测量仪、操作工具等各种各样的工具。但是，磨床加工，使用的工具很少，最多也就用测量器具或小扳手之类的。

说到这，首先来考虑一下工件到底该放到哪儿的问题吧！

技师的过人之处是他们每个人都无意识地考虑着如何提高工作效率、如何缩短工作时间，连续加工时，他们甚至考虑用两只手同时操作。

例如，习惯用右手的人，在磨削小工件时，都把摆放工件工作台放在左手边。理由如下：

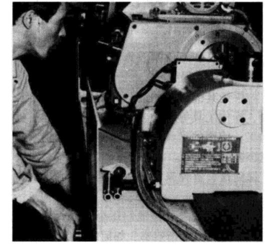
如果用外圆磨床磨削小工件材料时，工人站在机床中间部位，只用左手拿起工件，把工件装在头架中心（顶尖）；然后用右手控制尾座操作杆，进行顶尖的弹出插入及工件的拆装操作，从而减少工人身体移动的距离。

如果用外圆磨磨削稍大一些的工件时，工人一般都站在靠近工作台的右边，这样一来可两只手同时操纵尾座的操作杆。这种情况下，放置工件台最好放在右边。这样细心周到的工人，能说他们没有本事吗。工人间的差距及效率就是靠这点滴积累产生的。

# 2 仔细观察磨削中的砂轮

就像婴儿的啼哭一样，我们不知道孩子为什么哭，而作为母亲却知道他为什么哭。即使是差不多一样的哭声，母亲也能听出各种声音，比如“饿了”、“热了”、“尿布湿了”、“想要抱了”。

砂轮在转，工件也在转。磨削液发出哗哗的声音，那其中可以听出砂轮和工件摩擦的声音“吱——”，用文字无法描述那种声音。



▲请观察砂轮表面

但是，熟练的磨削工，从这声音中就能听出“需要进给了”、“磨孔塞堵了”、“砂轮过硬了”之类的问题。

当然，砂轮的问题不仅仅靠听声音，还要仔细观察砂轮表面。

例如，砂轮磨具磨钝、切不动、不能切时，该怎么办？

正常的砂轮，用手指轻轻地触摸一下旋转中的砂轮面，会有一种触摸到软软的毛毯的感觉。而磨钝的砂轮没有这种感觉，感觉很光滑，偶尔有突起感，砂轮表面还反光，很有光泽。

磨具孔堵塞了的砂轮，表面无光泽，用手指触摸时会感觉很粗糙，并有突起的感觉。但是需要说明的是，用手指触摸正在旋转的砂轮的表面，判断出砂轮是否正常运转这一动作，原本就是一件不可为的危险动作。明明知道危险，还用这种方法判断砂轮是否正常运转，是因为这种方法是熟练工人可以使用的非常行之有效的方法之一。只是

在操作时，需要有一定经验以及准确的判断能力。所以工作中才出现一边告诫年轻人“不许做”、一边自己却在不知不觉中实施，这种矛盾的现象。

## 3 所谓合理的

现在说起用卡钳测量，或许会被人们笑话的。但是在我年轻的时候，外径是用千分尺来测量，但内径大多数还都用卡钳测量。

总而言之，因为当时没有好的内径测量仪，所以一般先用内卡钳测量后，再把它移到千分尺处读取尺寸数据。这就是当时的精密加工。

需要说明的是当时为了能用卡钳测定到 0.01mm 的尺寸时，都必须要经过一定的努力。我们年轻的时候都是这么过来的。

如今我负责教导很多年轻人，每当跟他们说起这些，他们就会说“既然有了准确、方便的内径千分尺，就应该使用它，那样才合理”。的确应该那样做。但是我认为没必要一概而论。需要说明的是，有些地方根本放不下内径千分尺，与其在放不下内径千分尺的地方花心思，且用很长时间去测量但结果不准确，倒不如把手伸进去，用内径卡钳测得尺寸，如果能够准确地测出 0.01mm，那么不管是从时间、还是从费用（测定器的）来看，都不如使用内卡钳测量更合理。

因此，我认为现在也要练习一下用内卡钳测量到 0.01mm，不过可能大家很难接受我的想法吧！

我也没有说一定“请这么做”。总觉得“合理”的解释似乎有些不对。

## 4 技术测量

把话题稍微扯远一点，我们那时候的技术测量就是进行外圆的内外侧测量。正确的说法就是用外圆磨削和内圆磨削出的内外表面相互配合，进行测量。所用的材料和尺寸都要合适中。

而且结束一天的工作之前，在平板上涂上油，用外侧立放，并插入内侧孔中。第二天上班时，观察比较一下内侧的下滑程度，就会明白。

涂上了油，因为外圆中的空气无法散发，所以即使从上施力，内圆侧也不会下滑的。

但是，如果长时间放置，由于内圆的自重，由于空气慢慢地散发，也会出现一定程度的下滑。但是如果仅仅到第二天早上就出现下滑的现象，就说明做得太松了。

若一点也不下滑，就说明做得太（硬）紧了，即使空气散发也不下滑。

我们那个时代就是这样的。而现在的工

厂里每天都想着提高效率、降低成本，哪有时间想这些。首先，在磨削前也不会碰到质地合适的材料。

但是对于我们这样的技术测量，师傅（就相当于现在的组长）一般都会睁一只眼闭一只眼的。目的就是让我们钻研技术吧！

## 5 个人工具的制作

不管是在组织严密的大工厂，还是作业管理严格的车间，现场的工人一定有自己个人的加工工具。

而且，一般说来，越是技术高超技工个人工具越好。

大学毕业后就一直在管理岗位上工作的人肯定会说这缺乏全局性，把私藏工具都拿出来大家一起共享，制造个人工具很费时间等等之类，可能都非常讨厌私藏工具。但是，如角尺、平行调节楔之类的东西，越是对自己测出的精密度有信心，越不想把自制的工具借给别人。

正因为自己很小心翼翼地使用，所以，精度才能保证。如果被他人用过，可能会降低它的准确度。另外，正因为这些工具都是个人工具，所以都很小心翼翼地保管，虽然也经常使用，但是确保了其精度准确。

因此，读过这本书的管理人员，如果看见工人有自己的个人工具，请睁一只眼闭一只眼，把他们看做是技术高超的人，或者即将成为技术高超的人吧！

工人也不要浪费自己所拥有的时间，有时间时做些个人工具吧！在做个人工具过程中，也会提高自己的技术。再者，因为是为自己做的工具，所以为了提高工具的精度也会尽最大的努力！

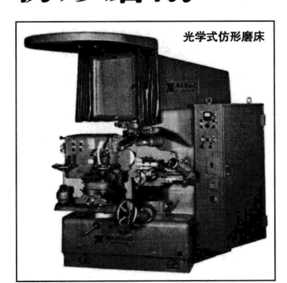
**人类的感觉，再见！**



照片中的物品叫“自动定尺寸的装置”，是一种在外圆磨削中一旦工件达到了一定的尺寸，电动机就会使液压装置工作退出砂轮，使工件停止旋转和进给的装置。

# 特殊磨削

# 仿形磨削

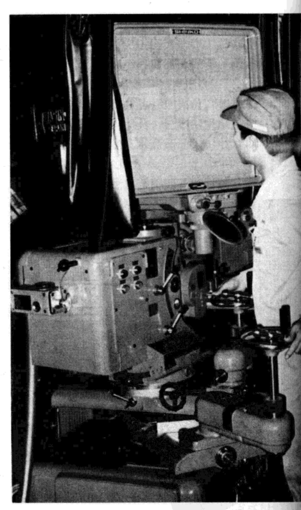

光学式仿形磨床

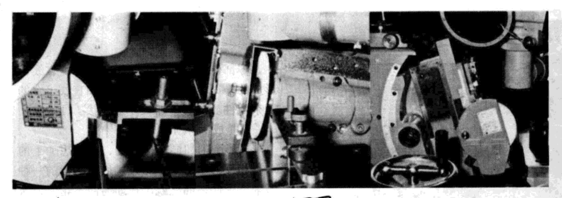
仿形磨削从大的方面来分，有缩放式仿形磨削和光学式仿形磨削两种。缩放式仿形磨削是先做一个模板，依照模板的形状磨削。光学式仿形磨削，先把需要磨削物体的轮廓图放入放大投影器内，工人参照放大图用方向操作盘进行仿形磨削。

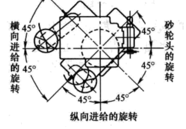
无论车床和铣床都有缩放式。总而言之，仿形磨削主要是用于成形刨刀轮廓控制量规、拔模用冲头、钢模等复杂形状物体的精密磨削上。

光学仿形磨削是投影屏上放了磨削加工图、工件、砂轮，按照图样形状磨削工件，被安装在工作台上的工件和砂轮放大（50倍、20倍等）后投影到屏幕上。当然，图样也按照同样的比例放大。

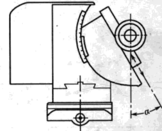
砂轮对工作台上的工件，上下（垂向进给）或者前后（工作台的纵向、横向）进给。如果把这两种运动结合在一起，也可以磨削出曲线形状。


▲一边看屏幕，一边操作横向、纵向进给手柄



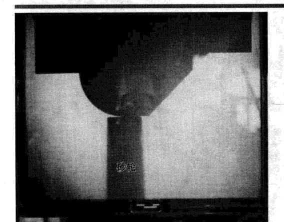



10° 10°

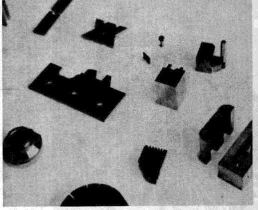



▲正因为砂轮可以从各个角度变换进给方向，所以可以加工出复杂的形状

各种进给运动情况，通过刻度能够看出来。

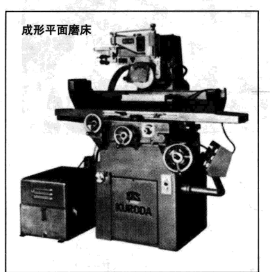



▲投影在屏幕上的工件和砂轮。图样上的线与工件重合在一起了



▲能够磨削加工的形状有很多，这和缩放式仿形加工相同

# 成形磨削

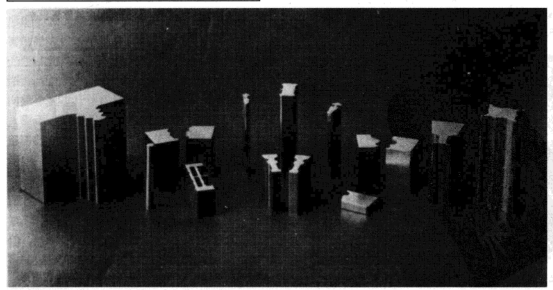


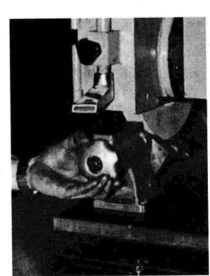
成形平面磨床

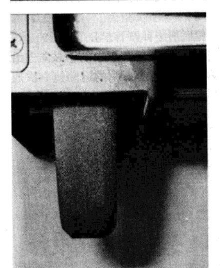
零部件的形状千差万别。既有由直线面形成的极简单的，也有由曲线和直线组合的复杂零件。而磨削加工复杂形状工件的方法之一就是成形磨削。

成形磨削如同成形铣削，把与想加工的形状相反的凹凸与砂轮接触后，进行的一种磨削。因此，问题就出在如何使砂轮变成所需的形状，成形方法也有很多种。

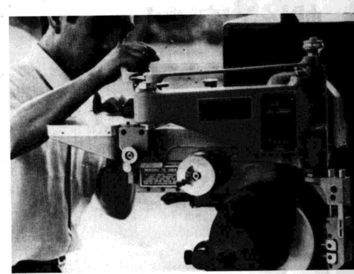
若是简单的圆弧状，使用修整用的工具在平面磨床上就可以修整，但是若是复杂的形状，就得使用装有样板仿形装置的成形磨床。

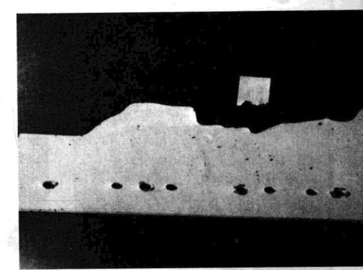

▲用成形平面磨床加工出的各式各样的零件





▲在平面磨床的工作台上安装圆弧状修整用工具，让修整台作圆弧运动，砂轮就会变成凸圆弧，用这种砂轮磨削工件就会变成凹圆弧

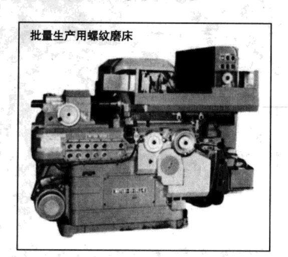




▲成形磨床上装有一种仿形修整装置，它是一种通过模板（样板）转动金刚石修整器，从而把砂轮做成和模板一样形状。模板要做成大于实际成形砂轮的20~30倍尺寸。试比较照片上的工件（上）和模板（下）

# 螺纹磨削

批量生产用螺纹磨床



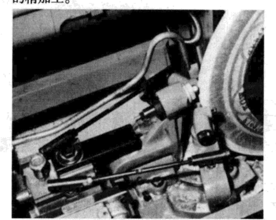
进行螺纹磨削的方法有两种，一种是单线砂轮磨削法（螺纹牙型），另一种是多线砂轮磨削法。单线砂轮磨削方法用于精密磨削，比如机床的丝杠（螺杆）或进给螺杆等的精加工。

因此，磨削前把砂轮修整成与牙型相符的形状。比如，在梯形螺纹砂轮上，如用照片中3个金刚钻笔就修成了螺纹牙型的形状。进给和用车床的切削螺纹一样，由交换齿轮来确定。磨削时，必须把砂轮轴线倾斜到一个螺旋角上。

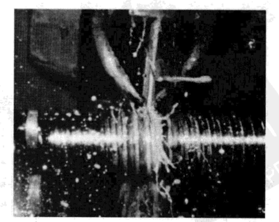
这种螺杆，既精密又长，正因为如此，不仅仅有螺纹磨削的问题，而且还有中心架等问题，一般需在恒温室内进行加工。用多线砂轮磨削法加工螺纹生产效率较高，一般用于批量生产。因为此种方法没必要把砂轮轴线倾斜一个螺旋角，所以多线砂轮磨削法没有单线砂轮磨削法精度高。

多线砂轮磨削法有如下方法：

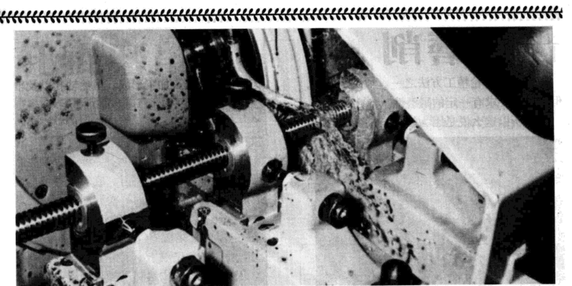
① 使用比工件牙型数多的砂轮纵向进给磨削，是靠工件旋转和螺距的运动（一次成形）的磨削方法。



▲用3个金刚钻笔进行的修整



▲砂轮轴线倾斜一定的螺旋角



▲螺杆磨削时使用中心架

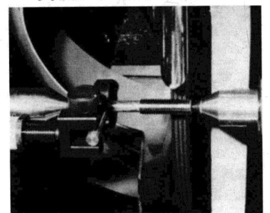
② 多线砂轮磨削是把砂轮修整成牙型状靠纵向进给旋转工件两周半进行加工的方法。

③ 如同螺纹接触那样，开始部分用螺纹牙型一点一点地磨削，螺纹可不经过预加工，一次磨出。

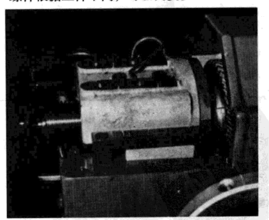
④ 使用多线砂轮的切入磨削方法。

⑤ 用无心磨削来贯穿进给的方法。

磨削照片所示为步骤②的方法，适于用批量生产及自动化程度高的磨床。同车床进给相同，是利用螺杆和轮毂螺母进行的磨削。螺杆根据工件不同，可以调换。



▲多线式，砂轮在每个单线上 3 个金刚钻笔形成了螺纹牙型的形状

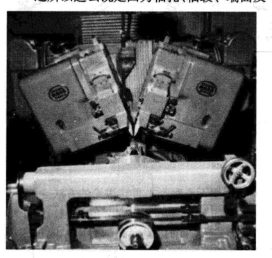


▲用于批量生产的磨床中的螺杆和轮毂螺母

# 齿轮磨削

磨齿是齿轮精工方法之一，虽说是齿轮，但是也是要求有一定的耐磨性。

之所以这么说是因为轴孔、轴毂、端面及齿面都是经淬火加工形成。虽然轴孔以及轴毂等也可以用内圆磨床和平面磨床进行加工，但是齿面却不能。必须使用齿轮专用的机床进行加工。

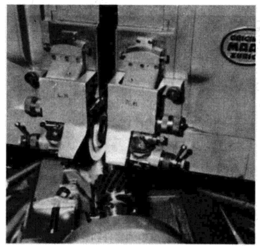


▲展成法磨齿用的 2 个砂轮头

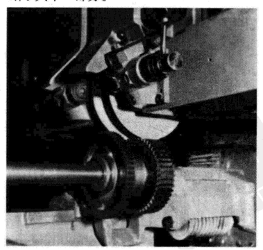
磨齿加工方法有两种：一种是成形法磨齿，另一种是展成法磨齿。成形法磨齿是用成形砂轮的渐开线齿面一次磨削的方法。虽然效率很高，但是由于砂轮和工件材料的接触面较大，容易产生磨削烧伤，所以同螺纹磨削一样，仅限于小批量生产。

展成法磨削依然利用了与磨齿方法相同的各种各样磨削方法。但是最常见的方法是马格公司（瑞士）的方式。这是一种用两块碟形砂轮在齿面两侧交替地一点一点地旋转齿轮，来进行展成法磨削的方法。

齿轮的相关理论很多，在此只用照片介绍了其中一部分。

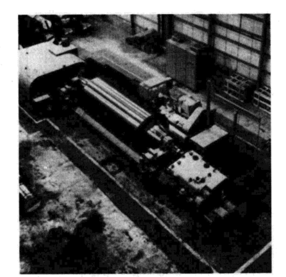


▲斜齿轮磨削，倾斜砂轮头



▲磨削直齿轮

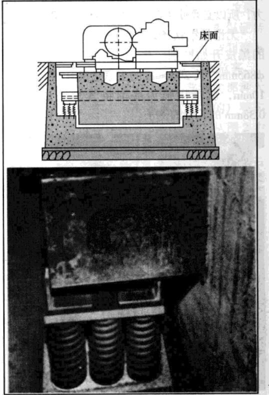
# 轧辊磨削



▲此照片是日本最大的轧辊磨床

说起轧辊磨削，大概人们很容易认为轧辊磨削是外圆磨削的一种吧。但是实际上轧辊磨削需要相当高的技术。虽然都可以概括成轧辊磨削，但是有各种类型。用在造纸机上的轧辊可以以数十倍的速度高速运转的，轮转印刷机也用相同的轧辊，都是以非常薄纸（0.01~0.1mm）为对象的。但是也有使用像铝箔滚压用轧辊、塑料用轧辊、聚乙烯薄膜用轧辊等更薄的，而且容易划痕的轧辊。制铁厂用成套的由数十个液压轧辊组成的机器把轧辊表面都加工成镜面，以防工件划痕及裂纹。但是这都是体积及重量大的设备，而且也存在平带与中高带关系等问题。

根据轧辊不同也有把中间加工成很细的轧辊（但数量极少）。因为体积大，所以用相当于轴承部分承受重量。因为无论加工面和尺寸都需要高精度，所以磨床安装也需要特殊方法。此照片是日本最大的轧辊磨床，为了避免来自外部的振动影响，在进行防振的基础上，在约有250t重的机床上加上150t轧辊，并用钢板弹簧支撑着。



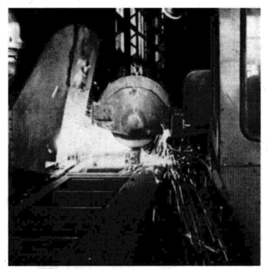

▲在此基础上，再用钢板弹簧支撑着

# 强力磨削

锻铸产品的制作一般都是通过车床、铣刀加工后再进行磨削加工，但现在从一开始就用磨削加工的方法也开始增多起来。由于用砂轮进行磨削，磨削量增多，背吃刀量增大，所以称其为强力磨削。

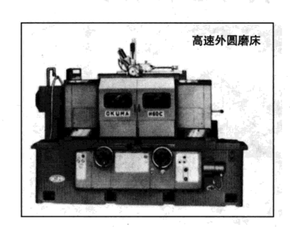
请看照片，火花四溅着。这是滚轧前砂轮接触到钢锭并磨削钢锭黑皮时的景象。因为进行这样的强力磨削时，砂轮轴会承受很大压力，所以必须使用砂轮轴承刚性好的磨床。

无论是钢铁还是造纸的轧辊都要从铸铁的黑皮开始磨削。例如也有将一个直径为 $\phi$865mm、长 2000mm 的生铁造的轧辊，仅需 10min，就能用强力磨削将其加工成直径 0.38mm 的轧辊的例子。



▲滚轧前的黑皮处理

# 高速磨削




现在在机械加工中，主要问题就是如何能提高工作效率。高速磨削是提高工效最有效的方法之一。要想提高工作效率，就必须提高砂轮的转速。

常用的砂轮磨削条件为：

外圆磨削 1700~2000m/min

平面磨削 1200~1800m/min

内圆磨削 600~1800m/min

如果超出以上转速的一般称为高速磨削。

要进行高速磨削，除了磨床本身刚性要好外，砂轮也必须选用适合磨床的钢性硬度。高速磨削用的磨床比普通磨床更结实，而且加工时砂轮与工件外部完全被罩子罩着，根本看不出是否是磨床。照片中机床上所有都有 H60C 的字样，这个 60 表示 60m/s（米 / 秒）。每秒 60m，是指转速为 3600m/min 圆周速度。此外，高速磨床还有用 45m/s（=2700m/min）表示的。高速磨床都是用 m/s 来表示，与普通的 m/min 不一样。

# 内冷却磨削

在磨削加工中利用磨削液进行湿式磨削的比例非常大，难点之一就是如何有效地将磨削液浇注在磨刃上。这与车刀、铣刀、钻头等的切削液相同。特别是磨削所产生的磨削热很大，所以磨削液对磨刃的作用尤为重要。其中一种方式就叫内冷却磨削（浸入式磨削）。

砂轮上有气孔，而砂轮外圆周面上的气孔与侧面和内圆周面上的气孔（都被设计成）相通。只从下图来看，可能不太明白，但一想到砂轮内部气孔里的蒸气因为干燥而消失，或者给气孔盖上盖子就会有非常高的温度，就会自然联想到气孔是相通的。

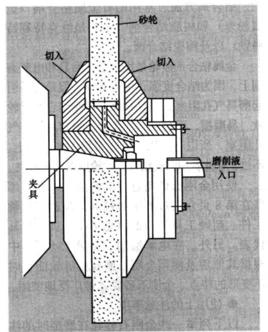



**图 1　内冷却磨削装置**

磨削液就是从这个气孔里流出来的。虽然实际应用中用此技术的例子不多，但是使用如**图 1** 所示的砂轮进行磨削时，磨削液会从外圆周面流出。不过，不只是从工件与砂轮的磨削弧上（磨削面）上流出，而是从整个外圆周面流出来。

因为砂轮高速旋转，液体靠离心力作用很自然地流出，从而达到冷却磨削点的效果。

用于内冷却磨削的磨削液必须要保证特别清洁，如果带脏物或灰尘，浇注磨削液不但不会起作用，反而会给加工上造成危害。

浇注磨削液的方法，除了普通的那种大量的浇注式，还有（变成雾状喷洒的）喷雾浇注式，通过与这些方式的比较，从**图 2** 中可以看出内冷却磨削的优点。

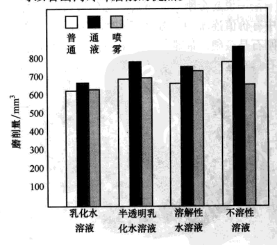
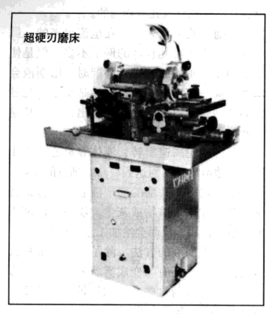
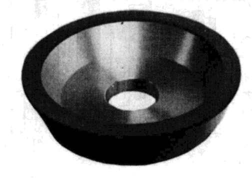



**图 2　大量浇注·内冷却·喷雾式的比较**

# 金刚石磨削




一说起金刚石，就会联想到宝石，宝石中有价值连城的，数百万、数千万的。而金刚石是最硬，最难于磨损的东西。由于金刚石具有这样的特性，所以常常被用到磨削工艺中，当然用于磨削的金刚石都是用些做不成宝石的，小颗粒，结晶也不太好的金刚石。而且大多都用合成（人造）代替天然金刚石使用。所以金刚石磨削是指用金刚石作为磨粒的砂轮进行的磨削。



▲工具磨削用的做成碗形的金刚石砂轮

虽说用于工业中的金刚石是人工合成（人造）的，但是其价格依然很昂贵，所以砂轮不可能全都用金刚石磨粒来做。普遍的都是以金属作为主体，只在砂轮工作面部分加上一定厚度的金刚石磨粒，如左下照片所示，金刚石磨粒只是附在碗形的端面部分上。

结合剂方面，常用的有金属粘合剂（金属粉末）和树脂结合剂（主要是维克特利特磁铁）以及陶瓷结合剂。

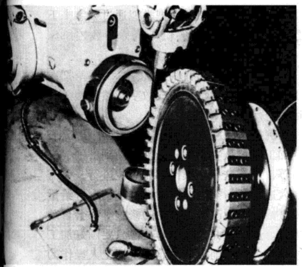
金属粘合剂砂轮是用在手工磨具和电解磨削上，因为结合度强，很难磨损，但是容易引起磨具气孔阻塞。与其相反，树脂结合剂砂轮软、易磨损，而且脆，气孔少，很容易引起气孔阻塞，所以不能用于背吃刀量大的磨削上。不过，在此若用陶瓷结合剂砂轮可以全部解决。

使用金刚石砂轮进行的磨削，可磨削那些在第 8 页介绍过的用磨粒都很难磨削的硬工件。超硬工具的刃磨（见第 123 页）是其代表。另外，在电解磨削（见第 154 页）中根据其原理及使用金刚石磨粒的砂轮能长时不变形的特点，金刚石砂轮才被广泛地使用。

● 使用上的注意事项

以下列举一些金刚石砂轮在磨削时的注意事项。





▲面铣刀刃口的磨削

①虽然背吃刀量越大越能提高工作效率，但是如果背吃刀量太大，不仅会缩短砂轮寿命，而且还会发生磨具气孔阻塞。大体如下：

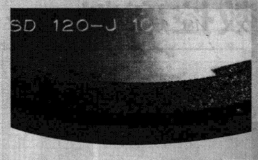
| | |
|---|---|
| 100~120 孔眼 | 0.02mm |
| 150~200 孔眼 | 0.012mm |
| 240 以下 | 0.006mm |

②进给速度根据砂轮圆周转速度及背吃刀量的不同而不同。以 6m/min 左右为宜，另外接触面积大时，钢材磨削时要把进给速度放慢。

③圆周速度因进给及材质的不同而有所变化，用金属粘合剂为 700~1500m/min 树脂结合剂（湿式）为 1400~1700m/min 左右。

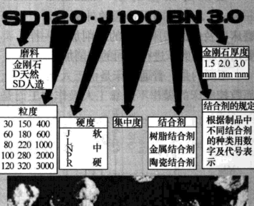
④要大量浇注磨削液。使用的是轻油、灯油和有水溶性油状物的混合物，但是不管用哪一种，都应避免使用强碱性磨削液。

另外，金刚石砂轮平常不需修理，但当气孔阻塞时，要把 GC 砂轮轻轻地放在砂轮面上进行修整。




▲最外侧是金刚石砂轮层

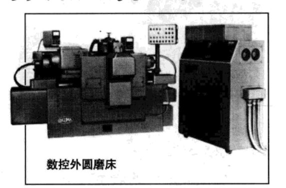
## 金刚石砂轮的表示方法






▲合成金刚石砂轮的磨粒

# 数控磨削

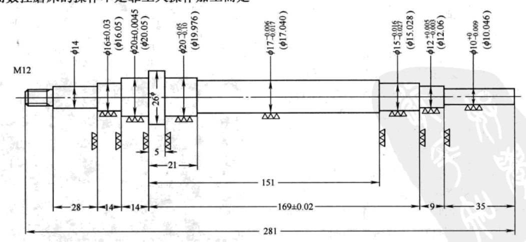

数控外圆磨床

虽说是数控磨削（numerical control grinding），其实同用普通的外圆磨床、平面磨床以及内圆磨床进行的磨削加工一样，都要用磨轮和磨床进行相同的磨削加工。

不同的是，普通磨床是由工人操作加工，而数控磨床的操作不是靠工人操作加工而是用数字控制加工。所以把类似通过数字来下指令进行各种加工的机床统称为数控机床（NC=Numerical Control）。

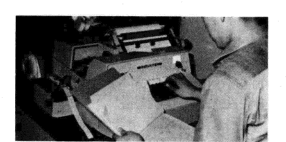
车床、铣床都有数控机，总之都是把由工人操作机器的情况改成数字，然后使机器运转进行加工。

例如，用左侧照片所示数控外圆磨床磨削加工时，从主轴、砂轮轴起动到磨削、进给等，所有这一切操作都靠数控进行，无需工人进行任何操作，包括操作过程中进给量或进给量有所改变，砂轮的修整等都会自动进行。虽然如此，也并非是说只要画好加工图样就可以磨削加工了。要求把工人操作的部分和进刀、工作台的进给以及砂轮的移动等其余的所有情况都由数字读出，并记录在纸带[⊖]上，然后一边通过电器设备读取数据，一边使机床运转。




▲一般用这样分段的砂轮轴，从轴环开始向左右各画好加工工序图样

⊖ 新型数控机床已不用纸带了。——译者注



▲边看工序表边加工好纸带

纸带必须由工人来制作。这种纸带就是能打很多小孔的那种纸带。每个孔都有它的作用，因为根据孔位置的不同，工作台和砂轮的运作也会不同。

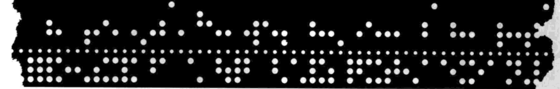
做纸带的时候，必须掌握纸带制作工艺工序。把制订的工序转换成表格就是程序单。一看到程序单马上就可以明白进刀（X 轴、砂轮台的前后进给）、进给（Z 轴、工作台的左右进给）、砂轮的修整、（固定尺寸）定轴时间以及其他的各种状态。提高磨削效率的关键就是如何制作程序单。通过程序单才能制作纸带。

只要把纸带做好了，因为相同加工形状的工件就可以反复使用这个纸带，所以数控磨削既适合重复的中量生产，又不需要工人具有较高的熟练度。

▼ 工序表

| No | X | Z | U | F | M | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | M81 | |
| 2 | | | | | M95 | |
| 3 | | | | | M92 | |
| 4 | | | | | M45 | |
| 5 | | Z—14.80 | | F8 | M04 | |
| 6 | | | | | M28 | |
| 7 | | Z—14 | | F1 | M29 | |
| 8 | | | | | M20 | |
| 9 | | Z—101.00 | | F8 | | |
| 10 | | | U—2.936 | | | |
| 11 | X—1.468 | | | | | |
| 12 | | | | | M20 | |
| 13 | | Z—40.00 | | | | |
| 14 | | | | | M20 | |
| 15 | | Z—44.80 | | | | |
| 16 | | | | | M28 | |
| 17 | | Z—14 | | F1 | | |
| 18 | | | | | M20 | |
| 19 | | Z—130.20 | | F8 | | |
| 20 | | | U—2.012 | | | |
| 21 | X—1.006 | | | | | |
| 22 | | | | | M28 | |
| 23 | | Z—14 | | F1 | | |
| 24 | | | | | M20 | |
| 25 | | | | | | |
| 26 | | Z 18.20 | | F8 | | |
| 27 | | | U—2.968 | | | |
| 28 | X—1.484 | | | | M46 | |
| 29 | | | | | M28 | |
| 30 | | Z—14 | | F1 | | |
| 31 | | | | | M20 | |
| 32 | | Z 99.20 | | F8 | | |
| 33 | | | U—2.014 | | | |
| 34 | X—1.007 | | | | | |
| 35 | | | | | M28 | |
| 36 | | Z—14 | | | | |
| 37 | | | | | M20 | |
| 38 | | | | | M05 | |
| 39 | | Z—163.00 | | | | |
| 40 | | | U 9.930 | | | |
| 41 | X 4.965 | | | | | |

X、U 轴用 0.001mm，Z 轴用 0.01mm 的单位表示



▲这就是数控纸带，中间的小孔是纸带读取机进给用的

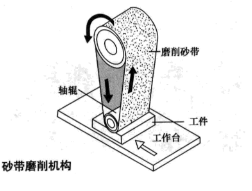
# 砂带磨削


多头砂带平面磨床

砂带磨削是一种使用磨削砂带代替磨削砂轮进行磨削加工的方法。

研磨砂带又称为砂布砂纸，和砂纸一样用粘合剂在砂带上粘上磨粒（研磨材料）制成的。

用这种磨砂带进行加工的方法有很多种，既可以用于外圆外面的磨削，也可以用于平面、曲面、各角度的磨削。每一种磨削都是在主动轮和从动轮（接触轮）的外圆周上加上磨削用砂带，一边高度旋转砂带一边让砂带靠近工件进行的磨削。

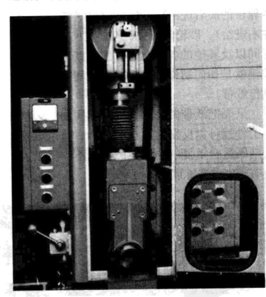


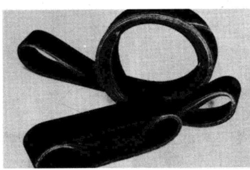
砂带磨削机构

这种从动轮（接触轧辊）的外周有槽，而这个槽并不和轴平行，其角度、槽宽以及材料（橡胶）的弹性大大影响着磨削效率。

强力磨削时用硬橡胶，并且加大槽的角度和宽度。另外，要进行光滑的面的精加工面时，相反要使用软橡胶，减小槽的角度和宽度。

接触轧辊如上所述是用橡胶制成的，所以它有弹性，即使从上面给它施加一定的压力，也不会将压力原封不动地转变成实际的进给值。越硬的橡胶越接近进给值。

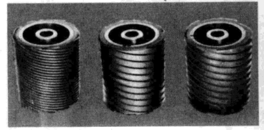

▲磨削头的内部



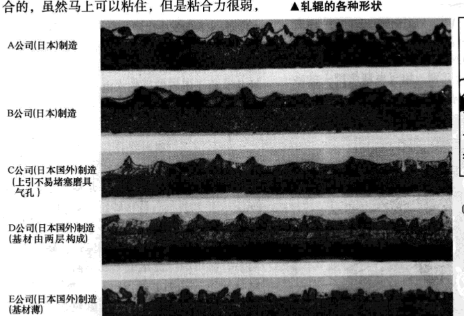
▲磨削砂带

使用这种砂带进行磨削时，虽然砂带上的磨粒的种类和粒度与磨削用砂轮的种类和粒度相同，但是由于把磨粒固定在砂带时使用的粘合剂是合成树脂。以往都是用木工用动物胶粘合的，虽然马上可以粘住，但是粘合力很弱，所以不用于金属磨削。而用合成树脂粘合砂带时，都用磨削专用的粘合剂粘合，固定磨粒的力很强，可以进行3000m/min的高速磨削。

从磨削砂带的断面照片也可以看出，磨削砂带的磨粒是完全按顺序排列着的，因此不能进行修整，一旦磨粒磨损就报废了。这与磨削砂轮不同，无论调换砂带，还是修整磨削面积都很容易。



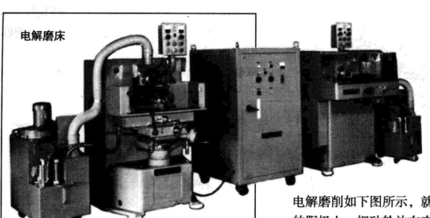
▲轧辊的各种形状



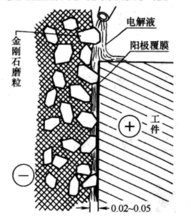

资料提供
(股份)名南制作所

▲磨削传动带的构造=粒度各公司都是#100，基础粘合剂层是动物胶，粘合剂层是合成树脂粘合剂×16

# 电解磨削


电解磨床

电解磨削（electrolytic grinding）也是磨削的方式之一。虽然其工作原理和一般的磨削加工的原理有很大的区别。但是，所使用的砂轮没有什么区别。用于电解磨削上的砂轮也是使用金刚石砂轮或铝质砂轮。



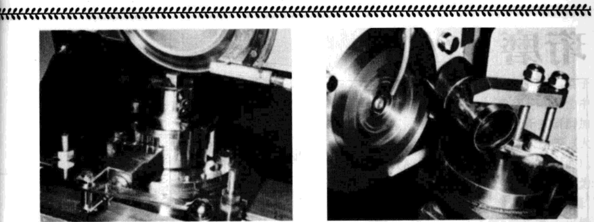

▲电解磨削的原理

电解磨削如下图所示，就是把工件放在直流电的阳极上，把砂轮放在直流电阴极上后，在两者之间通上电解液。这样，电流在电解液中流动，工件表面发生电解，变成金属离子，溶于加工物表面，然后把它冲洗掉。对于那些难以金属离子化的工件，例如像硬质合金的金属碳化物，由于电解液中的水电解发生了氧化后，其氧化和工件作用，就形成金属氧化物。而砂轮就会把那些氧化物刮掉。

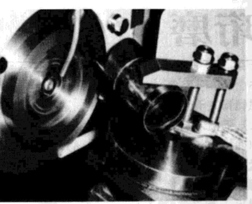
如上所述，电解磨削就是利用电解作用和磨削作用同时来进行加工的磨削。

但是，加工中的大部分是靠电解作用完成，只有10%左右是靠砂轮来磨削加工，所以砂轮磨损少。

如果砂轮和工件之间不保持一定的间隔的话，流出的电流量会出现不同。可以说要保持一定的间隔就要发挥砂轮磨粒的作用。工件被磨削过程中逐渐靠近砂轮，这时如果用过大的力压住工件，那么用砂轮的磨粒磨削量就比电解作用大。



▲插入薄片的薄断路器的磨削



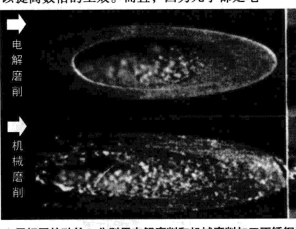
▲BTA 枪口铝的斜面磨削

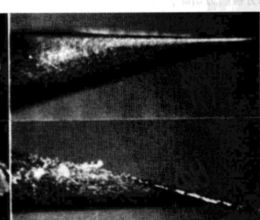
因此失去了砂轮的小耗损，这一电解磨削的最大优点。

这种电解磨削都是使用大电流、低电压的直流电，用数伏电压，工件和砂轮的接触面积每 1cm² 就用几十安培的电流。因此，如果接触面积达到 10cm² 就需要几千安培的电流。

根据电流量的不同，加工效率也不一样。一般的加工效率和普通的磨削加工相比，可以提高数倍的工效。而且，因为几乎都是电化学作用，所以基本上不产生热，也不会出现加工变形的现象。

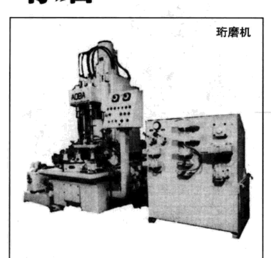
用于电解磨削中的电解液既易和工件发生化学反应，又易导电，而且不易使机床和工件生锈，一般使用 5%~10%的无机盐水溶液；工件是钢铁材料时，用食盐和盐化钾；加工硬质合金材料时，使用以硝酸盐钠盐、亚硝酸钠盐为主要成分的电解液。



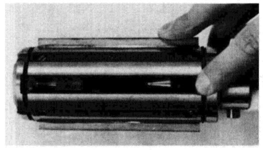
▲用相同的砂轮，分别用电解磨削和机械磨削加工不锈钢注射针的加工表面的对比

# 珩磨

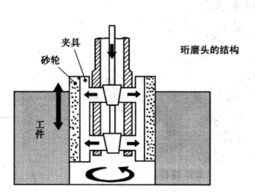



珩磨是使用砂轮进行精密加工的一种方法之一，其要点如图所示。将磨条安装在夹板上。珩磨中，磨条工作面上随机分布的磨粒形成众多的刀尖，被加工工件表面层有一部分被磨刃切除，另一部分被磨粒挤压，形成塑性变形，并使两旁隆起，与母体产生晶体滑移，上下往复移动。

砂轮通过夹板以相同的力与孔面接触，



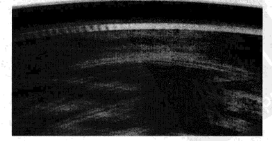
▲珩磨头




因此，砂轮相当于从内孔直径最小的地方开始磨削。这样一来既可以修整外圆内侧轴方向的弯曲和不平，又能够磨削出圆度及垂直度高的工件。

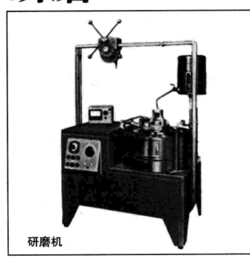
这种珩磨与普通磨床的磨削相比，其切削速度要慢 50m/min，同时它是一边接触内孔一边磨削的，所以对每个磨削刃的力量非常小（10g 以下），产生的切削热很少，加工面的表面粗糙度值小。另外，砂轮在旋转的同时要上下运动，所以每一个行程，对磨粒作用的方向都要改变，锋利度也随之变高。

除了内圆之外，还有平面和外圆珩磨。



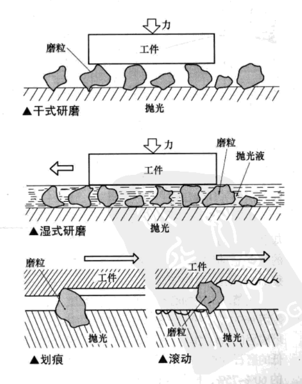
▲描绘珩磨剖面线的珩磨精加工面

# 研磨


研磨机

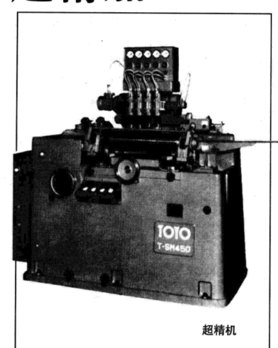
如果用小型英日字典来查，（研磨机）(lap) 这一单词没有与机械相关的日译，在各种翻译中都标明是“重叠”这一意思的名词和动词的转用。所以还没有合适的日语译词。只能把它叫做“研磨”（lapping）。所谓研磨就是在工件和重叠物等工件间即（研磨轮）上涂上磨料，使研磨轮高速旋转并压向工件进行加工以达到提高工件表面光亮度和降低表面粗糙度值的光整加工法。研磨磨料和磨粒相同，多用于卡规等量规、轴承滚珠、轧辊、泵的喷油嘴及光化学机器零件的镜头棱镜加工上。研磨时磨料工作非常复杂，起着划痕、滚动、摩擦、浮动等作用。其中大部分都靠划痕和滚动进行工件磨削。

研磨分为干式研磨和湿式研磨，湿式研磨是在研磨液中使用轻油、锭子油、菜子油、润滑油等。磨粒一边在研磨轮和工件中滚动，并压向工件进行加工，比干式研磨加工量大。与此相反，干式使用软研磨轮（大多使用铸铁的，但也有使用铜和软钢材的）。把磨粒嵌在研磨轮上，让其像砂轮一样作为固定磨刃工作。用干式可能磨削出光滑面，如果使用磨粒小的研磨轮也可以加工出镜面，都是最后一道工序。湿式可以加工出暗光泽精加工面。



▲干式研磨
▲湿式研磨
▲划痕
▲滚动

# 超精加工




超精机

超精加工是指使用细粒度磨石（油石）加工的光整加工，降低工件表面粗糙度值的精密加工方法之一。

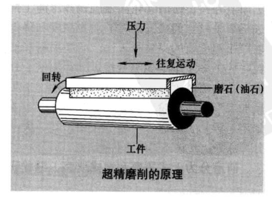
加工方法如图所示，是在良好的润滑冷却和较低的压力条件下，用细粒砂轮以较高的往复振动频率，对低速旋转的工件进行光整加工，这点和珩磨不同。

超精加工用的磨石（油石）的粒度一般多使用#600~#1500的。磨石（油石）的结合度和珩磨用的砂轮相同，都是用一些结合度强度较低的磨石（油石），磨石（油石）的宽度为工件的60%~75%，长度和工件长度大体相同，这样磨石（油石）在工件上做短暂的往复运动。

用较低的压力，一边把磨石（油石）压在工件上作往复运动，一边使工件旋转。开始工件面粗糙的时候，一点一点地通过砂粒进行磨削，工件面也渐渐变得光滑。但是随着工件运动轨迹的振动频率的增大，磨石（油石）出现交叉呈网状如同砂轮磨孔阻塞状态时，磨石（油石）就开始发挥磨削作用，直至自动停止加工为止。对下一个新工件进行超精加工时可以不修整磨石（油石），那是因为工件加工表面粗糙度起到修整磨石（油石）的作用。即经过反复自行修整和自行堵塞状态后，可以容易地加工出镜面。

超精加工多用于内燃机、工作机、精密测量仪、量规、滚轧轴承等多种零件加工上。

在超精加工中，如果机器的振动传到了砂轮和工件上，很难加工出正圆形，所以为了排除以上干扰，出现了用空压机（瓶）给磨石（油石）加压、自由调节的方法，通过这种方法即可以提高加工正圆形的精度，又可以增加磨削量。



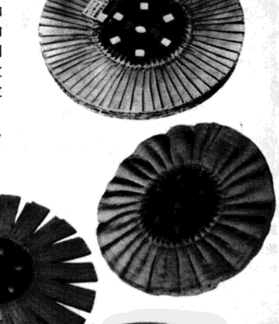

超精磨削的原理

# 抛光

所谓抛光，就是在如照片所示的皮布轮上涂抹上精细砂粒，使其高速旋转，对工件的表面进行加工。

抛光也可以称为皮布磨削、皮布精加工，如同工件研磨，是使用精细的砂粒进行表面精加工的一种。虽然和研磨相似，但是研磨用的磨削机是用硬的金属制的。而抛光使用的是一些皮布、毯子、皮革等材料的较软的、具有弹力的皮布轮，这一点和研磨加工不同。

这里使用的皮布轮来保持研磨材料（磨粒），但是因为皮布是用软材料做的，所以几乎无法像砂轮那样磨削工件。并且皮布会自由变形。因此，在皮布加工中大多都是仿照工件的表面和形状，只对其表层进行加工，为的是制作平滑面和镜面光泽或磨砂面。这种皮布加工在电镀工厂等被广泛地使用，经常用于那些注重外观美的汽车、餐具、家电产品、室内金属零件等的制作上。



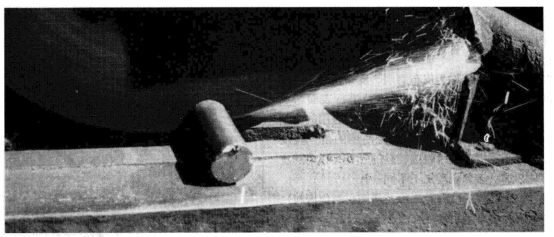
皮布轮高速旋转时（往往达到 2000m/min 以上），皮布轮外圆周的精细砂粒一边旋转的同时一边加工工件。

此时使用的砂粒多是由金刚砂、矾土、硅石等的细微粉末加工成的。

此外，抛光时常常一边固定小砂粒的同时一边涂抹动物油、植物油混合后的凝固物来进行加工。

▲各种布皮轮

# 切断



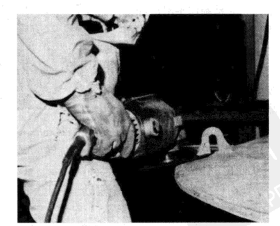
▲不管怎么说，用砂轮切断速度很快

切断材料有金工锯（锯片铣刀）、锯、錾加工、可燃气以及其他多种方法。可是用砂轮来切，比起其他方法，具有切断时间短，切断面精度高等优点，因此被广泛使用。

切断用的砂轮其厚度直接涉及工件材料的损耗部分，所以越薄越好，但是如果过薄，切断能力相对就越弱，因此多用于结合度高的树脂结合剂砂轮和有弹力的橡胶结合剂砂轮。而且，切断时还分为浇注水和磨削液的湿式切割和什么都不浇注的干式切割。前者必须用于降低转速和提高切割面精度上，而后者用超高的转速提高效率上。此外，切断硬质工件时用薄砂轮，而切断柔软的工件时则用厚砂轮。

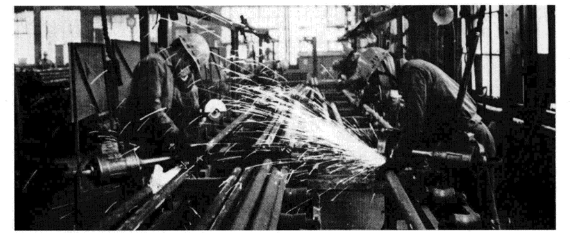
砂轮切割机一般的使用方法是先把工件固定后，再用砂轮上下切断。之外，也有让砂轮和工件同时旋转的切断方式和仅让砂轮运转的同时进行横向式进给等很多方式。

此外，装有小型砂轮的便携式切割机也被广泛使用。



▲广泛应用的便携式切割机

# 使用便携式砂轮机进行的磨削加工



▲去除圆棒上的黑皮时，所用的砂轮吊在上侧

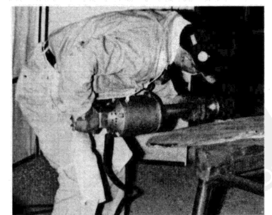
便携砂轮机磨削加工与磨床不同。因为其使用时，是用手拿着砂轮，或者从上边吊着砂轮使用，所以不能在固定的背吃刀量和进给量时进行磨削。因此称这种没有固定条件的磨削为自由磨削。

喷砂装置也是自由磨削的一种。加工时，一般都把工件铺在地板或工作台上进行磨削。可以广泛应用于比较大的铸造物及锻造物工件的去飞边和黑皮、除锈、去钢板的划痕及焊缝磨削等的磨削。

动力一般使用单相交流 100 V（同家庭用电相同）或 200V（动力用）。砂轮多采用平行的、粒度大的。

此外，用于动力中的砂轮也有使用压缩空气的。这种砂轮主要是指带轴的砂轮，多用于小零件的倒角、去飞边的加工中。一般是弯着腰，手拿砂轮操作。操作时，磨削条件没有固定的标准，只是靠手工加工的经验进行操作。

因为操作时，磨工手拿砂轮操作，所以必须注意安全。若用力过大，会使磨工姿势不稳。



▲手拿砂轮操作时的正确姿势